



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE CIVIL**

**DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

Evaluación de la capacidad de soporte de subbases granulares tipo 3, con la  
adición de PVC reciclado a base de residuos de ropa industrial.

**EDWIN RUBÉN MORALES DÍAZ**

**DIRECTOR: Ing. WILSON CANDO**

**QUITO-ECUADOR**

**2016**

## AGRADECIMIENTO

*Todas las personas, sea cual sea nuestra función en este mundo, debemos agradecer a nuestro padre Dios por la oportunidad de vivir día a día, realizarnos como personas y más aún por darnos la inteligencia, sabiduría y oportunidades para poder sobrepasar todos los obstáculos, llegando así a la consecución de nuestros objetivos.*

*Cúmpleme expresar mi grato y profundo agradecimiento a mis padres Jimmy Morales y Patricia Díaz por todo el apoyo brindado en el transcurso de mi vida académica, por los sabios consejos que me han brindado y en especial por creer en mis virtudes, fortalezas; también agradecer de sobre manera a mi hermana Estefanía por el apoyo y amor que me ha brindado a lo largo de mi vida.*

*De manera especial, dejo constancia de mi agradecimiento a mis grandes amigos que día a día estuvieron apoyándome y siempre estudiando hasta que se consiguió el objetivo de ser los mejores profesionales David Martínez, Paul Campaña, Miguel Aguilar, Sebastián Morales, Carlos Gallegos, David Polo, Carlos Jurado, Daniel Clavijo, Carla Poveda, Talía Quevedo.*

*A mi querido “Patrón Mejía” la institución que formo mi carácter y personalidad, en el cual me enseñaron que el valor de la amistad es lo más valioso que tiene el ser humano y que la justicia siempre triunfara; además a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por formar mis valores al servicio de la comunidad, por su excelencia académica, cultural y deportiva.*

*Un especial agradecimiento a todo el personal del Laboratorio de Materiales de Construcción de la PUCE en especial a Andrés Muñoz, José Morán y el Ing.-Guillermo Realpe quienes me tendieron la mano desinteresadamente para lograr esta meta.*

*A mi entrañable Facultad de Ingeniería quien me formó como profesional y ser humano cumpliendo el “Mensaje a García” y en especial a los profesores que confiaron en mí y siempre me apoyaron Ing.- Patricio Torres, Marcos Jácome, Fernando Castro, José Valencia, Gustavo Yáñez, Gustavo Leoro, Wilson Cando, Juan Carlos Montero, Juan Merizalde, Luis Burbano, Carlos Luis Navas, Oscar Jaramillo, Jorge Bucheli, Sebastián Baquero.*

*Muchas Gracias de corazón a todos cuentan siempre con este amigo.*

## DEDICATORIA

*A Dios padre todopoderoso quien siempre me acompaña, me guio y dio la oportunidad de estudiar esta profesión tan hermosa al servicio de los demás.*

*A mis Padres Jimmy y Paty, mi hermana Estefanía por ser el pilar fundamental de mi vida inculcándome valores y consejos además de su apoyo, amor, comprensión.*

*A toda mi hermosa familia Morales-Díaz tíos, primos quienes siempre estuvieron pendientes de mi avance en especial a mi Tío Daniel Díaz quien me guio a seguir esta profesión y ayudo en los tiempos difíciles.*

*A mis amigos que se convirtieron como parte de mi familia con los cuales compartí momentos inolvidables y aportaron gran parte de su ayuda para mi desarrollo ya que con su motivación y comprensión supieron sacar lo mejor de mí en cada proyecto.*

*A mi querido Colegio, Universidad y al equipo de Fisicoculturismo de la PUCE del cual me honra ser uno de los fundadores y dejar este legado el cual te enseña el valor de la disciplina y amistad.*

## **RESUMEN**

La presente disertación de grado comprende la evaluación en laboratorio de la capacidad de soporte (CBR) de subbases clase 3 en estado natural y de subbases clase 3 a las cuales se les ha añadido PVC flexible de reciclaje, producto de ropa industrial de la fábrica JEMEL 2L, en diferentes dosificaciones al peso. Se ha analizado la existencia del mejoramiento del CBR, de manera que pueda aplicarse en la conformación de la estructura del pavimento.

El documento inicia con la descripción de los agregados utilizados para la investigación; se menciona el origen de los agregados, la ubicación, sus propiedades físicas, mecánicas y químicas; así mismo brevemente se describe el PVC de reciclaje: su origen, ventajas, desventajas, su uso, aplicaciones y la demanda que hoy en día existe.

Seguidamente se exponen los tipos de pavimentos que existen en la actualidad, así como su estructura, puntualizando todas las capas que lo conforman, desde la subrasante hasta la capa de rodadura, poniendo énfasis en la subbase. Además se verifica la funcionalidad de cada capa y las restricciones que existen de acuerdo a la normativa ecuatoriana.

Posteriormente se describen todos los ensayos de laboratorio realizados; su norma, alcance, descripción, procedimiento y cálculos; para luego ver los resultados obtenidos mediante tablas ilustrativas, figuras, gráficos y poder comparar la subbase en estado natural con las diferentes dosificaciones utilizadas.

Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas en la investigación junto con recomendaciones para futuras investigaciones en relación al tratamiento de residuos generados por la ropa industrial en la empresa JEMEL 2L.

## **ABSTRACT**

This degree dissertation comprises laboratory CBR tests for subbase type 3 in natural condition, and subbase type 3 mixed with flexible recycled PVC from industrial clothing of JEMEL 2L Factory added in different weight doses. CBR improvement was analyzed for its application during the elaboration of pavement structure.

The document starts with a description of the aggregates used in this research: origin, location, physical mechanical and chemical properties. A brief description of recycled PVC is also provided: origin, advantages, use, applications and current demand.

The types and structure of currently existing pavements are presented; all layers, from subbase to wearing course, are pointed out although emphasis is given on the subbase. The functionality and restrictions of each layer, in accordance with Ecuadorian regulations, are also covered.

All the tests carried out in the laboratory are described: standards, scope, description, procedure, and calculations. The results are presented through charts, graphics, and illustrations, which show the values obtained during the tests both with the subbase in natural condition and with different doses of recycled PVC.

The conclusions of this research are presented at the end jointly with some recommendations regarding future research on treatment of the waste generated by industrial clothing of JEMEL 2L Factory.

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA .....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT .....	V
TABLA DE CONTENIDO .....	VI
Índice de Tablas .....	IX
Índice de Figuras .....	X
Índice de Fotografías .....	XI
Índice de Ecuaciones .....	XII
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES.....	2
OBJETIVOS .....	3
Objetivo General .....	3
Objetivo Específico.....	3
JUSTIFICACIÓN .....	4
ALCANCE.....	4
METODOLOGÍA .....	5
CAPÍTULO I.....	6
1.- DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES .....	6
1.1 Subbase clase 3 .....	6
1.1.1 Origen de los Agregados.....	7
1.1.2 Ubicación de los Agregados .....	9
1.1.3 Propiedades de los Agregados .....	11
1.2 PVC de Reciclaje .....	12
1.2.1 Origen del PVC .....	15
1.2.2 PVC utilizado en Ropa Industrial (Fabrica JEMEL 2L).....	16
1.2.3 Propiedades del PVC .....	17
1.2.4 Ventajas y Desventajas del uso del PVC.....	18

1.2.5. <i>Poliéster</i> .....	19
CAPÍTULO II .....	20
2.- ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO .....	20
2.1 Pavimento.....	20
2.2 Subrasante .....	20
2.2.1 <i>Subrasante mejorada</i> .....	22
2.3 Subbase Granular .....	25
2.3.1 <i>Funciones de las subbase de un pavimento flexible</i> .....	25
2.3.2 <i>Funciones de las subbase de un pavimento rígido</i> .....	26
2.3.3 <i>Subbases modificadas</i> .....	27
2.3.4 <i>Características que debe tener la Subbase según el MTOP (NEVI-12)</i> .....	27
2.3.5 <i>Subbase clase 3</i> .....	27
2.4 Base Granular .....	29
2.4.1 <i>Funciones de las base de un pavimento flexible</i> .....	29
2.4.2 <i>Características que debe tener la base según el MTOP (NEVI-12)</i> .....	29
2.4.3 <i>Bases estabilizadas</i> .....	30
2.5 Capa de Rodadura .....	31
2.5.1 <i>Funciones de la capa de rodadura</i> .....	31
2.5.2 <i>Tipos de Capa de Rodadura</i> .....	31
Capítulo III .....	36
3.- ENSAYOS DE LABORATORIO .....	36
3.1 Ensayos a realizarse .....	36
3.1.1 <i>Muestreo de agregados</i> .....	36
3.1.2 <i>Cuarteo manual de los agregados</i> .....	39
3.1.3 <i>Contenido de humedad natural</i> .....	41
3.1.4 <i>Granulometría de los agregados</i> .....	42
3.1.5 <i>Gravedad específica del agregado grueso</i> .....	43
3.1.6 <i>Gravedad específica del agregado fino</i> .....	46
3.1.7 <i>Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos</i> .....	46
3.1.8 <i>Desgaste a la abrasión en la máquina de los ángeles</i> .....	47
3.1.9 <i>Terrones de arcilla en los agregados</i> .....	49

3.1.10 Determinación del Índice de Actividad Puzolánica .....	51
3.1.11 Límites de Atterberg .....	52
3.1.12 Próctor Modificado .....	53
3.1.13 CBR (California Bearing Ratio).....	56
3.1.14 CBR (California Bearing Ratio) añadiendo el PVC de reciclaje.....	60
Capítulo IV .....	63
4.-RESULTADOS .....	63
4.1 Análisis de Resultados .....	63
4.1.1 Resultados de la subbase clase 3 .....	64
4.1.2 Resultados del PVC y poliéster .....	65
4.1.3 Resultados de la mezcla en Estado Natural .....	66
4.1.4 Resultados de la mezcla al 3 % de PVC de reciclaje .....	67
4.1.5 Resultados de la mezcla al 5 % de PVC de reciclaje .....	68
4.1.6 Resultados de la mezcla al 7 % de PVC de reciclaje .....	69
4.1.7 Resultados de la mezcla al 9 % de PVC de reciclaje .....	70
4.1.8 Resultados de la mezcla al 11 % de PVC de reciclaje .....	71
4.1.9 Resultados Generales (Datos Próctor Modificado) .....	72
4.1.11 Relación % de PVC –Densidad Seca Máxima .....	74
4.1.12 Relación % de PVC-Humedad Óptima .....	75
4.1.13 Gráfico Próctor Modificado General.....	76
4.1.14 Relación % de PVC – CBR 90% del grado de compactación.....	77
4.1.15 Relación % de PVC-CBR 95% del grado de compactación .....	77
4.1.16 Relación % de PVC-CBR 100% del grado de compactación. ....	78
Capítulo V .....	79
5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
5.1 Conclusiones .....	79
5.2 Recomendaciones.....	81
ANEXOS.....	82
ANEXO 1: Ensayo de Agregados .....	82
ANEXO2: Próctor Modificado y CBR .....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	109



## Índice de Tablas

<i>Tabla 1.1.-Comparación entre los distintos métodos de Reciclaje Plástico.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2.1.- Método para mejoramiento de Suelos .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2.2.- Características de la Subbase según el MTOP .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2.3.-Características según el MTOP para bases .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3.1.- Masa de la carga de abrasión .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 3.2.- Gradaciones de las muestras de ensayo .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 3.3.- Tamices de lavado.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 4.1.- Resultado Subbase Clase 3 .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 4.2.- Resultado PVC y Poliéster.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 4.3.-Resultado Subbase Clase 3 en estado natural.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 4.4.- Resultado Subbase Clase 3+ 3% de PVC.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 4.5.- Resultado Subbase Clase 3+ 5% de PVC.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 4.6.-Resultado Subbase Clase 3+ 7% de PVC.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 4.7.-Resultado Subbase Clase 3+ 9% de PVC.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 4.8.-Resultado Subbase Clase 3+ 11% de PVC.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 4.9.- Resultados Generales Próctor Modificado.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 4.10.- Resultados Generales .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 5.1.- Resultados Obtenidos del Material.....</i>	<i>79</i>

## Índice de Figuras

<i>Figura 1.1.-Ubicación de la mina “Piedras Verdes”</i> .....	10
<i>Figura 1.2.- Formas de Reciclaje</i> .....	14
<i>Figura 1.3.- Reacción Química del PVC</i> .....	16
<i>Figura 2.1.- Granulometría para las diferentes subbases</i> .....	28
<i>Figura 2.2.- Curva Granulométrica para subbase clase 3</i> .....	28
<i>Figura 3.1.- Tamaño mínimo de muestras de campo</i> .....	37
<i>Figura 3.2.- Masa mínima para el ensayo “Humedad Natural”</i> .....	41
<i>Figura 3.3.- Estados de consistencia según su humedad</i> .....	52
<i>Figura 3.4.- Curva de Compactación</i> .....	56
<i>Figura 4.1.- Relación % de PVC Vs Densidad Seca Máxima</i> .....	74
<i>Figura 4.2.- Relación % de PVC Vs Humedad Óptima</i> .....	75
<i>Figura 4.3 .- Gráfico Próctor General</i> .....	76
<i>Figura 4.4.- Relación % de PVC Vs CBR 90%</i> .....	77
<i>Figura 4.5.- Relación % de PVC- CBR al 95%</i> .....	77
<i>Figura 4.6.-Relación % de PVC-CBR 100%</i> .....	78

## Índice de Fotografías

<i>Fotografía 1.1.- Agregados Naturales .....</i>	<i>9</i>
<i>Fotografía 1.2.- Mina "Piedras Verdes" Macizo Rocoso.....</i>	<i>10</i>
<i>Fotografía 3.1.- Muestreo de Agregados .....</i>	<i>38</i>
<i>Fotografía 3.2.- Transporte de Agregados.....</i>	<i>38</i>
<i>Fotografía 3.3.- Pila de materiales para realizar el cuarteo manual.....</i>	<i>40</i>
<i>Fotografía 3.4.- División en partes iguales para el ensayo .....</i>	<i>40</i>
<i>Fotografía 3.5.- Ensayo contenido de humedad natural.....</i>	<i>42</i>
<i>Fotografía 3.6.- Masa sumergida de agregado grueso después del ensayo .....</i>	<i>44</i>
<i>Fotografía 3.7.- Preparación de fundas para el ensayo Próctor Modificado .....</i>	<i>54</i>
<i>Fotografía 3.8.- Equipo para realizar el ensayo de penetración.....</i>	<i>59</i>
<i>Fotografía 3.9.- Mezcla del material granular con el PVC de reciclaje .....</i>	<i>60</i>
<i>Fotografía 3.10.-Muestra del ensayo CBR para determinar el % de humedad.....</i>	<i>61</i>
<i>Fotografía 3.11.- Compactación por capas en los moldes .....</i>	<i>61</i>
<i>Fotografía 3.12.- Material mezclado, compactado y saturado listo para el ensayo de penetración .....</i>	<i>62</i>

## Índice de Ecuaciones

<i>Ec (3.1)</i> .....	42
<i>Ec (3.2)</i> .....	45
<i>Ec (3.3)</i> .....	45
<i>Ec (3.4)</i> .....	45
<i>Ec (3.5)</i> .....	45
<i>Ec (3.6)</i> .....	49
<i>Ec (3.7)</i> .....	49
<i>Ec (3.8)</i> .....	50
<i>Ec (3.9)</i> .....	51
<i>Ec (3.10)</i> .....	51
<i>Ec (3.11)</i> .....	51

## **INTRODUCCIÓN**

La empresa ecuatoriana Jemel2L bajo la dirección del señor Luis Logaña produce ropa impermeable en PVC para diferentes sectores productivos, estas prendas al momento de ser cortadas en máquinas producen desperdicios que mensualmente suman la cantidad de 1.5 toneladas, además los trajes impermeables tienen un periodo de vida de 3 a 5 meses y su disposición final es la basura desperdiciando este material el cual puede ser reutilizado en diferentes formas; es por tal motivo el interés de investigar si los residuos de PVC de ropa industrial pueden ser útiles para mejorar las características mecánicas que los materiales granulares naturalmente no las puede obtener.

En el campo de la ingeniería y en particular en la ingeniería vial se busca nuevas formas y maneras de estabilizar suelos y tener capas de la estructura del pavimento que cumplan con las exigencias establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador; es por ende que se busca la utilización de diferentes tipos de materiales, aditivos, polímeros, que permitan mejorar o incrementar el desempeño mecánico y la durabilidad de los materiales.

Esta investigación tiene importancia tanto para la Facultad de Ingeniería como para la empresa Jemel2L, ya que se logra dar un tratamiento a los residuos de PVC y de esta manera aprovechar sus propiedades físicas, mecánicas, químicas; asimismo ayudar con el medio ambiente y bajar los niveles de contaminación producidos por los desperdicios de PVC; además aportar a la investigación de la ingeniería vial para dar una solución a problemas con estructuras deprimentes, tener una alternativa de mejoramiento de subbases granulares en laboratorio y que sea el pilar para un estudio en campo más detallado.

## **ANTECEDENTES**

La presente disertación se fundamenta en un estudio desarrollado en la ciudad de (Medellín-Colombia), denominado “ Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase” elaborado por Edgar Rodríguez Rincón, Hugo Alexander Rondón Quintana, Diana Marcela Vélez Pinzón y Leidy Carolina Aguirre Aguirre, en el año 2006 ; además en la disertación de grado realizado en la ciudad de Quito-Ecuador, en la Pontificia Universidad Católica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil con el nombre “Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una subbase granular con material proveniente de la provincia de Esmeraldas por medio de la adición de desechos de PVC” realizado por: Sebastián David Lascano y Luis Aníbal Narváez Sánchez, en el año 2010.

Para la ingeniería vial resulta un desafío trabajar con materiales granulares de buenas características, que cumplan con la calidad deseada, que se encuentren cercanos al lugar de la construcción y cumplan con los requisitos mínimos establecidos en las especificaciones técnicas; por tal motivo el ingeniero procura mejorar las propiedades de los materiales con los que cuenta, a través de adiciones de aditivos, tratamientos orgánicos e inorgánicos o recurriendo a procesos físicos, mecánicos, químicos que modifiquen sus propiedades y de esta manera poder cumplir con las especificaciones.

El PVC es uno de los plásticos más antiguos y utilizados hoy en día por la sociedad, la producción anual mundial oscila los 23 millones de toneladas, es un material que posee gran versatilidad gracias a los aditivos que actúan como: estabilizantes, plastificantes, colorantes, además de sus excelentes propiedades físicas y químicas lo que le hacen un elemento de bajo peso unitario, resistente al fuego, impermeable, su principal uso es en el sector de la construcción, siendo también fundamental e importante en otros sectores como son: eléctrico, automotriz, agrícola, alimenticio, industrial, etc.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar la capacidad de soporte de subbases granulares clase 3 “CBR” añadiendo residuos de PVC proveniente de ropa industrial de la empresa JEMEL2L.

### **Objetivo Específico**

- 1) Realizar ensayos de laboratorio para determinar parámetros físicos, mecánicos, químicos de los materiales a ser utilizados en esta investigación.
- 2) Comparar los resultados obtenidos sin la adición de los residuos de PVC y con la adición de los residuos de PVC para ver si existe o no mejoramiento en la capacidad de soporte del suelo.
- 3) Preparar las diferentes dosificaciones que se deberán realizar para obtener un resultado positivo en la capacidad de soporte CBR.
- 4) Ayudar a la empresa JEMEL 2L a dar un tratamiento a los desperdicios de ropa industrial ya que mensualmente generan 1.5 toneladas de desperdicios.

## **JUSTIFICACIÓN**

Para la empresa JEMEL 2L significa un problema la disposición final de los desechos del PVC producido por la ropa industrial, ya que al momento de realizar los diseños y cortes para los diferentes tipos de prendas, siempre hay un desperdicio el cual no se lo puede ocupar en otra función u otra prenda, es por tal razón que la empresa consciente del medio ambiente y el no poder almacenar tantos sobrantes está buscando diferentes alternativas para el reciclaje de los residuos de PVC y una de esas alternativas es utilizar como material en el estudio del mejoramiento de las capas utilizadas en la conformación del pavimento.

Es conveniente desarrollar esta investigación ya que en el campo de la ingeniería siempre se busca nuevas opciones, métodos de construcción que puedan resultar confiables y eficaces; en el país existen materiales con propiedades mecánicas deficientes, razón por la cual esta investigación será de ayuda para el medio ambiente, para la ingeniería y para la empresa JEMEL 2L.

Los beneficios que se conseguirán con la presente investigación es el de dar una solución a la empresa JEMEL 2L en el tratamiento de los residuos producidos por el PVC como material que se utilizaría en la conformación de capas de la estructura del pavimento.

## **ALCANCE**

La presente disertación de grado culminará con la evaluación de la capacidad de soporte de subbases granulares clase 3 “CBR” en estado natural y añadiendo el PVC de reciclaje en sus diferentes dosificaciones, aplicando todos los ensayos de laboratorio necesarios, además si se tiene una respuesta positiva con la investigación en laboratorio, dar una idea de las dosificaciones en campo, y además trabajar conjuntamente con la empresa JEMEL2L en el tratamiento de sus residuos.



## **METODOLOGÍA**

- Obtener las muestras en la empresa JEMEL 2L del residuo de PVC generado por la producción de ropa industrial. (29 kilogramos).
- Obtener el material granular de una mina (Se va a obtener la subbase tipo 3 de acuerdo al MTOP) (1 metro cúbico equivalente a 32 sacos).
- Llevar las muestras de PVC y el material granular al Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Los ensayos de laboratorio en los materiales a realizar son los siguientes:

- Granulometría.
- Contenido de humedad natural.
- Gravedad específica y absorción.
- Desgaste debido a la presencia de sulfatos.
- Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de los ángeles.
- Límites de Atterberg.
- Próctor modificado.
- CBR.

Debido a la importancia de la subbase clase 3 el LMC solicitó realizar los siguientes ensayos

- Índice de actividad puzolánica.
- Terrones de arcilla.

Para determinar los resultados se realizará 1 ensayo del “CBR” al material natural y 5 ensayos del “CBR” con 5 dosificaciones al peso añadiendo el material de residuo de PVC (al 3%, 5%, 7%, 9%, 11%).

Con los resultados obtenidos se puede evaluar si la capacidad de soporte de la subbase granular tipo 3 “CBR” aumenta o disminuye para las diferentes dosificaciones.

# **CAPÍTULO I**

## **1.- DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES**

### **1.1 Subbase clase 3**

La subbase es la primera capa de la estructura del pavimento sea este flexible, rígido o articulado, esta capa se coloca sobre la subrasante para resistir adecuadamente el tráfico vehicular. En países europeos la subbase como componente del pavimento flexible se ha eliminado por las mejoras que ha tenido la capa base. En nuestro país, se mantiene el uso de subbase por motivos económicos, porque tomando en cuenta la calidad de los componentes del pavimento; mejora de abajo hacia arriba; resulta factible emplear un material de subbase de menor calidad y de esta manera reducir costos; la relación de costos que se tiene como referencia es la siguiente: para capa de rodadura 8 veces mayor, para base granular 4 veces mayor y para subbase granular 1 vez mayor. (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)

En pavimentos articulados, semi-rígidos y rígidos se mantiene el uso de la subbase por que los esfuerzos transmitidos bajo la capa de rodadura son mínimos; seria innecesario y costoso el uso de una capa de base.

La subbase debe ser de un material homogéneo apto para el tráfico vehicular, el material deberá ser seleccionado cuidadosamente por el diseñador tomando en cuenta la distancia de donde se va a extraer el material, las condiciones climáticas, la condición de la subrasante y la posición del nivel freático; por lo general el espesor de las subbases varía entre 10 y 60 cm aunque se han construido subbase de mayores espesores.

La subbase que se va a estudiar en la presente disertación de grado es una subbase clase 3, la cual es una capa del pavimento construida con material obtenida por excavación al pie de la mina, esta subbase debe cumplir con un CBR mayor al 30%, además el desgaste debido a la abrasión en la máquina de los ángeles debe ser menor al 50%, el límite líquido debe ser menor a 25 y debe tener un índice de plasticidad menor a 6.

### ***1.1.1 Origen de los Agregados***

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que forman parte de la roca madre, estos se forman por la disgregación debido a la erosión; se presenta en sus tres fases:

**Física.-** Debido a cambios térmicos (dilataciones entre los diferentes minerales da lugar a acciones y fisuras internas); por la acción del agua (arrastres de fragmentos ya erosionados son transportados por el agua, posible acción directa por congelación las cuales produce tensiones internas por el aumento de volumen del hielo respecto al agua; acción alterante de humedad-sequedad a lo largo del tiempo, etc.); por la acción del viento y la gravedad (desgastan a la roca y se desintegra con el pasar del tiempo) estas acciones físicas tienden a romper la roca inicial y a dividirla en fragmentos de tamaño cada vez más pequeño. (GONZALEZ DE VALLEJO, 2004)

**Química.-** Originada por fenómenos de hidratación (paso de anhidrita o de sulfatos); disolución de sales (como sulfatos en agua); oxidación de minerales como el hierro por efecto ambiental; cementación (contacto del agua con carbonatos, previamente disueltos a partir de la roca).

**Biológica.-** Producida por actividad bacteriana induciendo putrefacciones de materiales orgánicos y mezclando el producto con otras partículas de origen físico-químico, actuando de elemento catalizador.

Todo ello da lugar a fenómenos de disgregación y transformación de la roca, creándose el perfil de meteorización. En este perfil la roca madre se ocupa la parte más baja y alejada de la superficie, y el suelo la más alta, Cuando el suelo permanece in situ sin ser transportado, se lo conoce como suelo residual y cuando ha sufrido transporte se lo denomina suelo transportado. (GONZALEZ DE VALLEJO, 2004)

El suelo representa todo tipo de material que se encuentra en la tierra, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas. El agua contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo.(JUAREZ BADILLO Eulalio, 1976)

Las tres fuentes principales de suministro de agregados minerales son: Piedra partida, grava o arena los cuales tienen orígenes diferentes, aun cuando básicamente en algún momento todo se originó en una roca.

Las gravas y arenas naturales son esencialmente el resultado de la acción abrasiva del agua en los materiales rocosos, de su transporte y posterior depósito por las corrientes de agua; estos materiales se encuentran en los cauces y las vegas de los ríos, las playas de mar, los lagos, así como en los depósitos llamados aluviales.

El origen de los bancos de roca corresponde a un curso de geología más que a un curso de construcción; hay tres clases de rocas: ígneas derivadas del magma fundido; sedimentarias, derivadas de la fragmentación y desintegración de otras rocas y metamórficas, que son rocas ígneas o sedimentarias que han cambiado su contextura y su mineralogía por presión o calor, o por una combinación de ambos. (MORALES CAMACHO, 2008)

En el caso del agregado utilizado en la presente disertación, su origen es de carácter ígneo el cual se divide en dos clases:

Rocas ígneas-extrusivas: son producto del magma obligado a salir a la superficie de la tierra y luego enfriado. Estos flujos de lava se llaman comúnmente basalto, aun cuando mineralógicamente hablando puede haber varios tipos de lava, este grupo de rocas son de color oscuro de estructura columnaria y de grano fino. Las rocas intrusivas, por lo contrario, no alcanzaron a salir a la superficie, excepto por erosión posterior y por tanto se han enfriado lentamente bajo presión y son de textura cristalina, como la obsidiana. (MORALES CAMACHO, 2008)

Realizando las investigaciones pertinentes se ha determinado que el agregado geológicamente es parte de una roca subvolcánica de nombre “Ofita”, estas rocas se han cristalizado bajo la superficie de la tierra por tal motivo se las puede considerar como rocas ígneas intrusivas, su textura es muy variada ya que nos indica una presencia de cristales y carbonatos.

*Fotografía 1.1.- Agregados Naturales*



### ***1.1.2 Ubicación de los Agregados***

La mina de agregados que se la conoce por su nombre “Piedras Verdes” se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, Cantón Quito, en la vía “Culebrillas”, ruta que conecta las parroquias rurales de Quito (San Antonio, Puellarro, Perucho, San José de minas); tomando como referencia San Antonio de Pichincha se debe tomar la vía “Culebrillas” alrededor de 30 kilómetros en los cuales se encontrara diferentes tipos de macizos rocosos con diferente color, se puede evidenciar tonos rojizos, rosados y verdes, el más apto para utilizar como subbase clase 3 es de color verde y está ubicado en las siguientes coordenadas UTM.

Norte	Este	Elevación
9308	785715	1848

Figura 1.1.-Ubicación de la mina “Piedras Verdes”



*Fuente.- Google Earth*

Fotografía 1.2.- Mina "Piedras Verdes" Macizo Rocoso





### ***1.1.3 Propiedades de los Agregados***

“Los agregados pétreos constituyen del 88 al 96 % el peso del pavimento y más del 75% del volumen del mismo.” (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)

Las propiedades de los agregados se pueden conceptuar bajo dos puntos de vista:

1) Como elementos individuales.- Los agregados como elementos individuales tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo de elasticidad, conductividad térmica, dilatación; así mismo presentan propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento. (JUAREZ BADILLO Eulalio, 1976)

2) “Como conjunto.- Los agregados como elementos en conjunto actúan como un todo, la distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va a influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado.” (JUAREZ BADILLO Eulalio, 1976)

#### ***1.1.3.1 Propiedades Físicas y Mecánicas***

**Forma.-** Se refiere a la apariencia que tienen las partículas que integran los agregados esta se puede distinguir observando a la porción del agregado, puede ser: redondeada, subredondeada, subangular, angular, alargada, plana, lajosa; la forma depende del origen de la roca o de sus procesos de desintegración.

**Granulometría.-** Es la distribución de tamaños de las partículas la cual se determina mediante el uso de tamices o mallas normadas.

**Densidad.-** También llamada (Gravedad Específica) es un balance de la densidad de una sustancia en este caso del agregado, con la densidad del agua a 4°C de temperatura, se representa por las siglas Gs; además se puede calcular usando una relación de peso de la sustancia a peso de agua siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de sustancia y agua.

**Porosidad.-** Es el espacio no ocupado por la materia sólida del agregado, viene dada por el porcentaje de vacíos existentes en el mismo frente al volumen total.

**Tenacidad.-** Es la capacidad de resistir cargas sin deformarse.

**Dureza.-** Es la resistencia que ofrecen los materiales a cambios, como la abrasión, el rayado, las deformaciones, en la mineralogía se utiliza la escala de Mohs que mide la resistencia al rayado de los materiales.

**Módulo de Elasticidad.-** Es la medida de la tenacidad y de la rigidez del material, mientras mayor sea el módulo mayor será la rigidez; además se puede decir que es la pendiente de la curva del gráfico Esfuerzo Vs deformación unitaria en su parte constante.

**Resistencia a la abrasión.-** Es la propiedad que permite a un material resistir y mantener su aspecto original al ser impactado con otro objeto.

#### ***1.1.3.2 Propiedades Químicas***

**Resistencia a los sulfatos.-** Es la propiedad del material a resistir el deterioro y ser atacado por la acción de los sulfatos

**Actividad Puzolánica.-** Se refiere a la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que la puzolana se puede combinar depende de: la naturaleza, las fases activas de la puzolana, la finura del material y la temperatura de reacción

### **1.2 PVC de Reciclaje**

El PVC se produce desde los años 40 a escala industrial, presenta una buena barrera al paso de gases y vapores, el cloro lo vuelve resistente al calor y al fuego, además tiene una resistencia química alta.

Este material plástico ha sido y es motivo de gran controversia, no se puede negar que es un material muy versátil y además tiene muchas aplicaciones, pero se debe aceptar que requiere una significativa cantidad de aditivos lo que implica tener cuidado en su dosificación. El polímero en grandes cantidades representa un peligro para la salud, ya que tiene aplicaciones en la medicina, se puede decir que su monómero es cancerígeno por tal motivo se debe tener cuidado en las fábricas que polimerizan el material. (CADENA & QUIROZ, 2000)

El PVC rígido puede nuevamente ser usado en la fabricación de tuberías, marcos para ventanas, botellas, láminas delgadas y planchas, y el PVC flexible puede ser reutilizado en mangueras, planchas para pisos, cables, calzado; la diferencia entre el PVC rígido y flexible es la cantidad de aditivos (plastificantes) que incluyen en su formulación. (CADENA & QUIROZ, 2000).



Los diferentes tipos de reciclado pueden ser los siguientes:

### **Reciclado mecánico**

Este tipo de reciclaje no afecta en nada a la composición química del polímero, el procedimiento para realizar el reciclado mecánico es el siguiente: se separa de otros materiales como (vidrio, caucho o metales), luego los productos de PVC son elegidos y depende de la naturaleza para las cuales se las quiera reutilizar se puede moler, lavar o triturar.

### **Reciclado Químico.**

Este tipo de reciclaje es diferente al tipo mecánico, ya que se debe utilizar la tecnología para procesar los productos de reciclaje, el resultado de este proceso es una mezcla de plásticos o de productos diversos que no se los puede separar, en este grupo están los cables, ropas de vinilo, láminas de muebles, calzados deportivos. (eis.uva.es, 2008)

### **Reciclado con recuperación de energía**

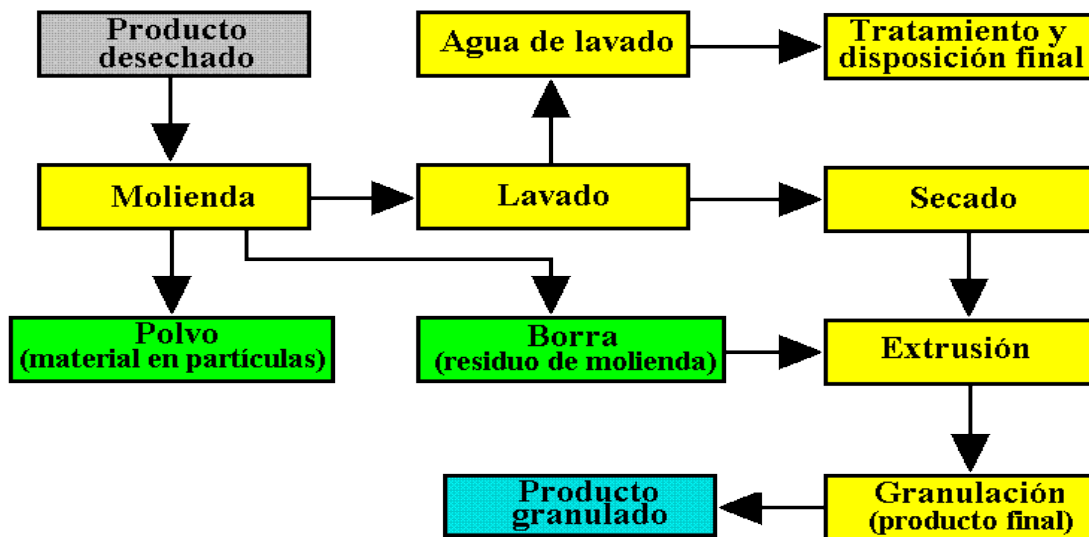
“En este caso se selecciona artículos que por razones de salubridad o costo no pueden ser reciclados, estos productos se los envía a plantas de combustión para ser incinerados y así generar energía.” (eis.uva.es, 2008)

### **Disposición final en rellenos seguros**

“Cualquiera que sea el tipo de reciclaje del PVC una fracción no es reciclable y este sobrante se envía a un relleno, estudios confirman que el PVC no constituye un riesgo para el medioambiente ya que no es biodegradable.” (eis.uva.es, 2008)



Figura 1.2.- Formas de Reciclaje



Fuente.- Acciones sobre los artículos de PVC al término de su vida útil <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PVC/medioamb.html> Acceso: 02/02/2016

Tabla 1.1.-Comparación entre los distintos métodos de Reciclaje Plástico

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>RECICLADO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Proceso accesible</li> <li>-Adecuado para residuos industriales</li> <li>-Se puede realizar a cualquier escala</li> <li>-Favorecido políticamente</li> <li>-No requiere destrucción final</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Genera productos de baja calidad</li> <li>-Difícil de realizar mezclas con polímeros</li> <li>-Alto costo para reunir y clasificar los residuos.</li> <li>-No es adecuado para el embalaje de alimentos.</li> <li>-No es una solución última, hay un límite en el número de ciclos de reciclaje</li> </ul>
<b>INCINERACIÓN</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alta eficiencia en la esterilización</li> <li>-Eliminación semifinal</li> <li>- Tecnología disponible</li> <li>-Generación de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Costo elevado</li> <li>-Puede producir contaminación</li> <li>-Aplicable solo a grande escala.</li> </ul>
<b>BIODEGRADACIÓN</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Deseable desde el punto de vista ambiental</li> <li>-Se puede realizar a cualquier escala.</li> <li>-Completa los ciclos del C y N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No existe suficientes reactores o plantas.</li> <li>-Requiere el desarrollo de nuevos aditivos.</li> </ul>

Fuente: Libro Manual de reciclaje de plásticos.

### **1.2.1 Origen del PVC**

- “Justus Von Liebig (Alemania-1835).- Sintetiza el cloruro de vinilo en un laboratorio.” (eis.uva.es, 2008)
- Roald Hoffman (Polonia-1860).- Publica un informe sobre la obtención de poli bromuro de vinilo.
- Fritz Klatte (Alemania-1912).- Estableció los principios de la fabricación industrial.
- “Plausen (1921).- descubrió la forma de polimerizar PVC a partir del acetileno seco y, con eso, el PVC dejó de ser una curiosidad de laboratorio.” (eis.uva.es, 2008)
- “En 1938 inicia la producción de PVC a gran escala.” (eis.uva.es, 2008)
- En 1950 cinco compañías principales competían en la fabricación de PVC.
- “En la década de los ochenta veinte compañías producían PVC. Se da el mayor desarrollo tecnológico y de comercialización del PVC a nivel mundial” (eis.uva.es, 2008)

### **¿Qué es el PVC?**

El PVC es un plástico familia de los termoplásticos que representan el 83 % (en peso) de la producción total; los termoplásticos que más se producen a nivel mundial son los siguientes: Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Policloruro de Vinilo (PVC) y Poliestireno (PS), el PVC ocupa el 19 % de la producción mundial de los plásticos.

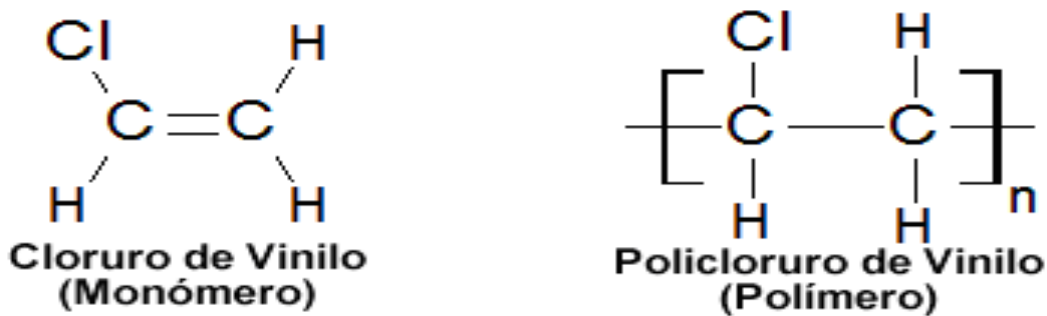
En el Ecuador la industria de los materiales de ingeniería representan el 7% del PIB, entre esos el 50 % le corresponde a la industria de los plásticos, el número de industrias transformadoras de plásticos ha ido creciendo sosteniblemente, se reporta alrededor de 80 empresas en Pichincha, igual número en la Provincia del Guayas y en la zona Austral alrededor de 40. (CADENA & QUIROZ, 2000).

El cloruro de polivinilo o PVC, es una de las materias plásticas más importantes en el mundo, se conoce bajo las designaciones de Hostatil, Solvic, Vinnol, Vinylite, etc.

El cloruro de polivinilo es un polvo blanco que empieza a reblandecer hacia los 80°C y se descompone a los 140°C, para estabilizarlo al calor y la luz se añade estabilizadores, como compuestos metálicos, sales metálicas de ácidos orgánicos. Es muy resistente a los agentes químicos, mecánicos y de fácil pigmentación; de ahí su uso tan extendido en la industria.

“El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo.” (eis.uva.es, 2008)

Figura 1.3.- Reacción Química del PVC



*Fuente.- ¿Qué es el PVC?*

*<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pvc/queeselpvc.html> Acceso 03/02/2016*

El polímero se lo obtiene de dos materias primas naturales: cloruro de sodio (NaCl) (57%) y petróleo o gas (43%), por lo tanto depende menos de recursos no renovables que otros plásticos; se calcula que alrededor del 86% del petróleo se quema para obtener energía, en cambio solo entre el 2 y 4 % se emplea para la producción de plásticos.

“El PVC es uno de los polímeros más estudiados y utilizados por el hombre para su desarrollo y confort, dado que por su amplia versatilidad es utilizado en áreas tan diversas como la construcción, energía, salud, preservación de alimentos y artículos de uso diario, entre otros.” (eis.uva.es, 2008)

### **1.2.2 PVC utilizado en Ropa Industrial (Fabrica JEMEL 2L)**

Los plásticos son en la sociedad actual uno de los materiales más usados debido a su gran diversidad, versatilidad, facilidad de producción, peso, desarrollo en investigaciones; pero estas mismas características lo han llevado a ser uno de los causantes de uno de los más grandes problemas de contaminación ambiental, la inadecuada disposición de los residuos sólidos prácticamente en todos los centros poblados, especialmente en los países en vías de desarrollo son un peligro ambiental, debido a que no se les da el tratamiento adecuado una vez que ha concluido su vida útil. (CADENA & QUIROZ, 2000)

La fábrica JEMEL 2L se encuentra ubicada en la Provincia de Pichincha, Cantón Mejía parroquia de Tambillo, es un grupo empresarial que se especializa en la elaboración de prendas de trabajo y equipo de protección personal con materiales de excelente calidad y fabricados con tecnología de punta, inicio sus labores en el año de 1993, su experiencia en el mercado

destacando su cordialidad y servicio predominan en los diferentes sectores productivos como el de la (construcción, petrolero, industrial).

JEMEL 2L produce prendas de todo tipo y con diferentes materiales, uno de ellos es el PVC un material impermeable y resistente a diferentes factores ambientales, además el PVC viene soportado con un textil que es un poliéster el cual lo hace más resistente a todos los factores perjudiciales que tienden a dañar a las prendas.

Para la elaboración de las prendas de vestir; primero el fabricante une un polímero con el PVC, una vez enlazados estos dos elementos se produce una mezcla con el pigmento que se desea generar y se almacena en una tolva, luego pasa por un proceso de termo fusión y compactado hasta que queda como una lámina, mientras la lámina de PVC se encuentra caliente se coloca el poliéster, además de situar en la parte inferior el poliéster se instala en toda la lámina un plastificante, lo cual le da un tono brillante y le protege de agentes externos como es el ( sol, polvo, aire, suelo)

En la Fabrica JEMEL2L se encargan de diseño, doblado y el corte que se quiere dar a cada modelo; los colores en los cuales se producen las prendas de vestir depende del cliente, la empresa ofrece diferentes modelos y colores como son; amarillo, blanco, tomate, estas prendas también pueden tener características adicionales como capsulas de retroactividad.

Los años de degradación del material según información de la empresa oscilan entre (50 -200 años).

El desperdicio actual de la fábrica oscila entre 1 tonelada a 1 tonelada y media / mes, las prendas de vestir tienen una vida útil de 3 a 5 meses y después de este tiempo los clientes no saben qué hacer con estos residuos; en vista a esto la empresa da las facilidades de que se los devuelva para evitarse el problema de donde es la disposición final, actualmente la empresa consiente de los daños ambientales que genera el PVC, está desarrollando varias investigaciones y soluciones para dar un tratamiento de reciclaje adecuado con el PVC.

### ***1.2.3 Propiedades del PVC***

Entre las principales propiedades del PVC están las siguientes:

- Ligero.- Peso unitario igual a (1.4 gr/cm<sup>3</sup>), lo que facilita su manejo y aplicación.
- Duradero: Resistente al ataque de la mayoría de los reactivos químicos.

- Resistente a la intemperie (sol, viento, lluvia)
- Buena resistencia mecánica y tenacidad (resiste a impactos y choques)
- Resistente a la abrasión, corrosión
- Resistente a la acción de hongos, bacterias, insectos y roedores.
- Inocuo: Los productos finales del PVC no contienen cloro ni organoclorados libres.
- Resistente al fuego: No propaga la llama, es auto extingible.
- Impermeable: a gases y líquidos.
- Aislante térmico, eléctrico y acústico.
- Versátil: Las características físicas del PVC permiten a los diseñadores un alto grado de libertad cuando diseñan nuevos productos (rígido o flexible, traslucido u opaco, natural o coloreado, compactado o espumado) y además con una amplia gama de métodos procesados.
- Económico: Fabricado con bajo consumo energía, buena relación calidad/ precio.
- Reciclable.

#### ***1.2.4 Ventajas y Desventajas del uso del PVC***

##### **Ventajas**

- Bajos requerimientos energéticos para la formación de piezas necesitan temperaturas no mayores de 250°C
- Las materias primas están disponibles a bajos costos.
- Bajos costos de fabricación.
- El desarrollo de la tecnología de los polímeros ha permitido un mayor dominio sobre los metales.
- En muchos casos las piezas plásticas terminadas pueden estar listas en la etapa de procesamiento, en cambio los metales suele requerir varios acabados.

##### **Desventajas**

- Su resistencia a la fricción y al rozamiento es baja.
- Tienen cierta dificultad para ser reparados, sobre todo si se los compara con los metales.

### ***1.2.5. Poliéster***

“El poliéster es típicamente un sólido disuelto en estireno, la adición de un agente de curado de radicales libre polimeriza al estireno junto con grupos de vinílicos de poliéster” (DRIVER, 1982), esta resina proviene de fracciones pesadas de petróleo desarrollado en 1941; se produce alrededor de 8000 kg de poliéster cada segundo; la producción mundial al año es de 42 millones de toneladas; los mayores productores son India y China; la mayoría de empresas productoras están en Asia; el poliéster es muy utilizado en la industria textil, se encuentra en la ropa que utilizamos como : camisetas, chaquetas, pantalones, uniformes.

A nivel mundial el poliéster fue la primera fibra sintética para la elaboración de telas, con su llegada la industria tuvo un despegue debido a su bajo costo y disponibilidad en el mercado, además esta tela no necesitaba ser planchada; la desventaja de este material es que produce irritación en la piel y para ciertas personas la textura no es agradable.

El poliéster en parte es bien visto por empresarios ya que el costo de producción es bajo y se puede disponer de una gran cantidad en poco tiempo, pero la percepción para los fabricantes es que el poliéster no funciona como tela sola, necesita de una combinación con otros materiales como el PVC o diferentes telas.

#### ***1.2.5.1 Propiedades del Poliéster***

- No es absorbente
- Conserva el calor
- Resiste a los ácidos, álcalis, a las manchas

#### ***1.2.5.2 Ventajas y Desventajas del Poliéster***

##### **Ventajas**

- Alta elasticidad
- Extremadamente tenaces y resistentes a la abrasión.
- Resiste al estiramiento

##### **Desventajas**

- No puede ser teñido con colorantes
- Afinidad a la tierra, grasa y aceite
- Baja absorción al agua y sudor

## **CAPÍTULO II**

### **2.- ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO**

#### **2.1 Pavimento**

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el motivo de movimiento de tierras en el proceso de explotación y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmite durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (MONTEJO, 2008)

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas que impone el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes del intemperismo.
- “Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos” (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)
- Debe ser resistente al efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe ser durable.
- Debe ser económico
- “Debe poseer color adecuado para evitar deslumbramientos y ofrecer una adecuada seguridad.” (MONTEJO, 2008)
- “El ruido de rodadura en el interior de vehículos no debe afectar al interior, ni al exterior.” (MONTEJO, 2008)

“En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados.” (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)

#### **2.2 Subrasante**

De la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito (CBR). Es necesario tener en cuenta la



sensibilidad del suelo a los efectos causados por la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia, como las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento- retracción). (MONTEJO, 2008)

La subrasante es la capa sobre la cual se cimienta la estructura del pavimento (terraplén natural, o explanación de una vía). Debe soportar en última instancia las cargas del tráfico vehicular; debe presentar un comportamiento adecuado ante la acción del medio ambiente y suministrar un apoyo firme a la estructura del pavimento. (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)

La subrasante en un pavimento debe satisfacer tres funciones principales:

- 1) Soportar un limitado número de vehículos durante la construcción.
- 2) Proveer una apropiada cimentación para compactar las capas de la estructura.
- 3) Proveer un adecuado soporte a las cargas impuestas por el tránsito durante su vida útil; adicionalmente debe contar con propiedades físicas y químicas que no cambien demasiado con el tiempo.

Algunas cualidades deseables en una subrasante son:

- Poseer alta resistencia mecánica.
- Alta densidad o grado de compacidad.
- Buena trabajabilidad durante la compactación.
- Permanecía de la resistencia durante la vida útil del pavimento.
- Baja susceptibilidad a cambios volumétricos y al agua.

“Para un diseñador vial la subrasante es una línea imaginaria, mientras que para un ingeniero de pavimentos es un material que constituye tal vez la principal variable de diseños de pavimentos.” (RONDÓN QUINTANA & REYES LIZCANO , 2015)

En un diseño de pavimentos es importante considerar su potencial expansivo, porque:

Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse precaución de impedir variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. (MONTEJO, 2008).

Para dimensionar el pavimento, los diseñadores caracterizan la subrasante mediante la relación de soporte de California (CBR), por el módulo de reacción de la subrasante (K), o por el módulo resiliente (Mr). Dependiendo del tipo de estructura que se diseñe o del método empleado, el diseñador deberá tener en consideración los parámetros mecánicos mencionados.

### **2.2.1 Subrasante mejorada**

Cuando un pavimento se va a construir se debe cumplir con condiciones muy severas de tráfico y si el suelo de fundación es débil, el espesor de la capa de subbase que se necesita puede ser muy grande. En estos casos puede pensarse en emplear dos tipos de materiales de subbase, uno de calidad superior al otro. El de calidad superior se coloca inmediatamente debajo de la capa de base y encima del material de calidad inferior. En estos casos, la capa de encima se denomina la subbase y la de abajo una subrasante mejorada. El diseñador debe balancear los espesores de las capas de base, subbase y subrasante mejorada, para encontrar la solución más económica utilizando los materiales disponibles. (MONTEJO, 2008)

Por lo general esta capa puede construirse con materiales de conformación de rellenos (terraplén) o del tipo rajón para pedraplenes (en suelos pantanosos), o con escombros (materiales reciclados obtenidos de demolición de obras civiles o de procesos industriales como son los mampuestos, concreto, escorias de acero, cenizas, estériles de carbón, entre otros) (RONDÓN QUINTANA & REYES LIZCANO, 2015)

Otro tipo de mejoramiento de la subrasante es mediante procesos químicos añadiendo al suelo débil cal, cemento, arenas, limos, cloruro de sodio y cuando se trata de suelos expansivos se lo puede realizar mediante el sistema consolid.

Es necesario que los materiales de sustitución o de aporte tengan un CBR>10 para la circulación de la maquinaria.

A continuación en la Tabla 2.1 se puede observar diferentes métodos para el mejoramiento de suelos dependiendo del tipo de suelo, la profundidad, el equipo empleado y el costo.

**Tabla 2.1.- Método para mejoramiento de Suelos**

METODO	PRINCIPIO	Condición más	Profundidad eficiente	Materiales especiales requeridos	Equipo especial requerido	Propiedades del material tratado	Ventajas y limitaciones específicas	Costos Relativos
--------	-----------	---------------	-----------------------	----------------------------------	---------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	------------------

		adecuada del suelo, tipos						
EXPLOSION	Ondas de impregnación y vibraciones causan licuefacción y desplazamiento.	Arenas saturada total o parcialmente, limos	> 30 m	Explosivos, material de relleno	Máquinas de perforaciones	Pueden obtenerse densidades de 70-80%	Rapidez, económica	Bajo
SONDAS VIBRATORIAS	Densificación por vibración licuefacción	Arenas limpias, saturada o secas	Sobre 3-4 m	Ninguno	Indicados vibratorio de pilotes	Pueden obtenerse densidades de 80%	Rapidez, económica simplicidad	Moderado
VIBRO COMPACTACIÓN	Densificación por vibración y compactación de material de relleno	suelos no cohesivos con 50% de finos	30 m	Material granular de relleno	Vibro flotador	Pueden obtenerse densidades altas	Util en suelos saturados	Moderado
PILOTES DE COMPACTACIÓN	Densificación por desplazamiento de volumen en pilotes	suelos arenosos sueltos, suelos arcillosos	> 20 m	Material de pilotaje	Indicador de pilotes	Pueden obtenerse densidades altas	Util en suelos con finos	Moderado alto
APISONAMIENTO PESADO	Aplicación repetida de impactos de alta intensidad	Suelos no cohesivos, rellenos no utilizables	30 m	Ninguno	Pisones de hasta 800 t	Buen mejoramiento del suelo	Rapidez, económica simplicidad	Bajo
PRECARGA	La carga es aplicada con anticipación a la construcción	Arcillas blandas, limos, depósitos orgánicos	NE	Tierras para relleno	Equipos de movimiento de tierras	Reduce el contenido de agua	Facilidad teoría bien aplicada	Bajo
RELLENOS DE SOBRECARGA	Un relleno en exceso del requerido permanentemente	Arcillas blandas consolidadas, limos, depósitos orgánicos	NE	Tierras para relleno	Equipos de movimiento de tierras	Reduce el contenido de agua, la relación de vacíos	Es mas rápida que la precarga	Moderado
ELECTRO-OSMOSIS	La corriente eléctrica continua produce un fluido del agua	Limos normalmente consolidados y arcillas limosas	NE	Anodos usualmente de aluminio	Abastecimiento de corriente eléctrica	Reduce el contenido de agua y la compresibilidad	No se requieren rellenos para carga	Alto
IMPREGNACIÓN CON PARTICULAS	La impregnación penetrante rellena los poros del suelo con suelo-cemento	arena media y gruesa, gravas	Sin limite	Impregnares agua	Mezcladoras, tanques, bombas	Impermeabiliza, resistencia de baja a alta	Impregnantes son de bajo costo	El más bajo de los sistemas
IMPREGNACIÓN QUIMICA	Solución de productos químicos	Limos medios o	Sin limite	Impregnares agua	Mezcladoras, tanques, bombas	Impermeabiliza, resistencia de baja a alta	Baja viscosidad, tiempo real	Alto a muy alto

		más gruesos						
INYECCIÓN A PRESIÓN CON CAL	Lechada de cal inyectada a poca profundidad	Arcillas expansivas	Entre 2- 3 m	Cal, agua, productos dispersos	Tanques para lechada	La cal encapsulada las zonas impregnadas	?	Competitividad con otras soluciones
INYECCIÓN CON DESPLAZAMIENTO	Impregnación de alta viscosidad	Suelos blandos de grano fino	Sin limite	suelo, cemento, agua	Equipos de mezcla de alta presión	Bulbos de impregnación	Eficiente para corregir asentamientos	Bajo para materiales
INYECCIÓN ELECTROKINETICA	Productos químicos estabilizase	Limos saturados, arcillas limosas	Desconocido	Estabilizante químico, coloides	Corriente eléctrica continua	Se aumenta la resistencia	Los suelos y estructuras están a altas presiones	Caro
IMPREGNACIÓN A CHORRO	Chorros de alta velocidad, profundidad	Arcillas blandas o suelos orgánicos, pantanos	NE	Agua, productos estabilizante	Pilones especializados para chorros	Se solidifica paredes y columnas	Util en suelos que no pueden ser impregnados	Alto
RELLENOS ESTRUCTURALES	Rellenos estructurales que distribuyen la carga	Todos los suelos inorgánicos	NE	Arena , grava , cenizas	Equipos de mezcla y compactación	Las subsanaras blandas son protegidas	Uniformidad, se controla el suelo	Bajo a alto
PILOTES Y MUROS	Cal, cemento, asfalto, introducido mediante taladro rotativo	Suelos de grano fino ,arcillas, limos	> 20 m	Cemento, cal asfalto	Equipos para dosificar	Pilotes o muros de suelo solidificados	Alta resistencia, buena distribución	Moderado o alto
CALENTAMIENTO	Secado a baja temperatura	Todos los suelos	15 m	Petróleo	Tanques para petróleo, quemadores	Se produce contenido de agua, la plasticidad	Mejoramientos irreversibles de suelo	Alto
CONGELAMIENTO	Se congela el terreno blando y húmedo para darle resistencia	Arcillas blandas y depósitos aluviales	Varios metros	refrigerantes	Sistema de refrigeración	Se aumenta la resistencia y la rigidez	No es aplicable en agua freatica	Alto
REEMPLAZO POR VIBRACIÓN	Perforación a chorro en suelos blandos de grano fino	Todos los suelos	20 m	Grava o piedra triturada	Equipos de vibración, agua	Se aumenta la capacidad de soporte	Más rápida que el sistema de precompresión	Moderado o alto
PILOTES PARA FUNDACIÓN	Se usan elementos para soportar la tensión, esfuerzo cortante y compresión	suelos no cohesivos	NE	Varillas de refuerzo	Equipos de perforación	La zona se comporta como una masa coherente	Reforzamiento insitu para suelos	Moderado o alto

*Fuente: Modulo II Suelos, subrasantes y drenajes (Apuntes de clase -José Salvador, 2012)*

## 2.3 Subbase Granular

La subbase es el primer estrato de materiales seleccionados que se coloca sobre la subrasante tanto en pavimentos rígidos, flexibles y articulados. Para la subbase se recomienda un espesor mínimo de 10 cm.

En la actualidad especialmente cuando existe subrasantes mejoradas se elimina esta capa de pavimento instalándose directamente la capa base en pavimentos flexibles, en pavimentos rígidos la subbase tiene como función principal evitar el fenómeno de bombeo.

La subbase granular está compuesta de agregados gruesos triturados o cribados mezclados con agregados finos provenientes de la trituración del suelo o de un suelo con buenas características seleccionado. Se compondrá de fragmentos limpios, resistentes, durables; deben estar libres de partículas alargadas, así como de materia vegetal, granos de arcilla, y de materiales perjudiciales a esta capa. (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)

### 2.3.1 Funciones de las subbase de un pavimento flexible

**Función Económica:** Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica (...), es preferible distribuir los esfuerzos a las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad, la cual es frecuentemente la más barata. (MONTEJO, 2008)

**Capa de transición:** “La subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y además actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contamine menoscabando su calidad.” (MONTEJO, 2008)

**Disminución de las deformaciones:** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios de su contenido de agua, o cambio de temperatura; esta capa puede absorber los esfuerzos e impedir que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento. (MONTEJO, 2008)

**Resistencia:** “La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado de la subrasante.” (MONTEJO, 2008)

**Drenaje:** La subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

**Espesores:** Los espesores tanto de la subbase como de la subrasante mejorada se determinan utilizando los valores del CBR que se van a exigir a estas capas, y sobre la base de estos valores se hace el diseño, siguiendo procedimientos normales para las condiciones de tráfico esperadas. (MORALES CAMACHO, 2008)

**Fuente:** En lo posible se debe conseguir materiales locales cerca del sitio de la construcción y que su calidad sea superior al suelo de fundación, pero inferior a los requisitos exigidos para poder ser una base. Estos materiales, son más baratos que un material de base y son completamente satisfactorios para utilizarse en las capas inferiores de la estructura del pavimento, constituyendo así una subbase y abaratando el pavimento.

**Construcción.-** La subbase en los procesos de construcción de la estructura del pavimento sirve como capa de rodadura temporal hasta que se continúe la construcción de las otras capas del pavimento.

### ***2.3.2 Funciones de las subbase de un pavimento rígido***

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua afuera de la estructura de pavimento, debido a la infiltración por las juntas de la losa. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas. (MONTEJO, 2008)
- “Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.” (MONTEJO, 2008)
- “Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.” (MONTEJO, 2008)
- “Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios sobre el pavimento.” (MONTEJO, 2008)
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

### 2.3.3 Subbases modificadas

Cuando los materiales naturales disponibles no permitan la construcción de capas granulares, por no cumplir con los requisitos de calidad exigidos, se deberá modificar mediante el uso de aditivos. Los aditivos más utilizados son los asfaltos líquidos o emulsionados, el cemento portland y cal.

De acuerdo al MTOP las subbases modificadas se clasifican en dos clases,

**a) Subbase modificada clase 1:** Son aquellas que se modifican con la incorporación de limos inorgánicos no plásticos o arenas finas no plásticas.

**b) Subbase modificada clase 2:** Son subbases que se modifican con la incorporación de cal hidratada para que la mezcla cumpla con las especificaciones prescritas.

### 2.3.4 Características que debe tener la Subbase según el MTOP (NEVI-12)

La clase de subbase que debe utilizarse en la obra estará especificada en los documentos contractuales. De todos modos, los agregados que se empleen deberán tener un coeficiente de desgaste máximo del 50 %, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles, y la porción que pase el tamiz N°40 deberá tener un índice de plasticidad menor a 6 y un límite líquido máximo de 25. La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30 %. (MTOP, 2013)

**Tabla 2.2.- Características de la Subbase según el MTOP**

<b>Características</b>	<b>Límites</b>
Abrasión debido al desgaste	< 50 %
Índice de Plasticidad	< 6
Límite Líquido	< 25
CBR	=o > 30 %

*Fuente (NEVI 2012)*

### 2.3.5 Subbase clase 3

Según el (MTOP), 2013 “ Son subbases construidas con agregados naturales y procesados que cumplan los requisitos establecidos en el numeral 816 y que se hallen graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 3, en la tabla 402-3.1”

Numeral 816 Dice “ La subbase clase 3 esta formada por áridos gruesos, obtenidos mediante cribado de gravas o rocas mezcladas con arena natural o material finamente triturado para

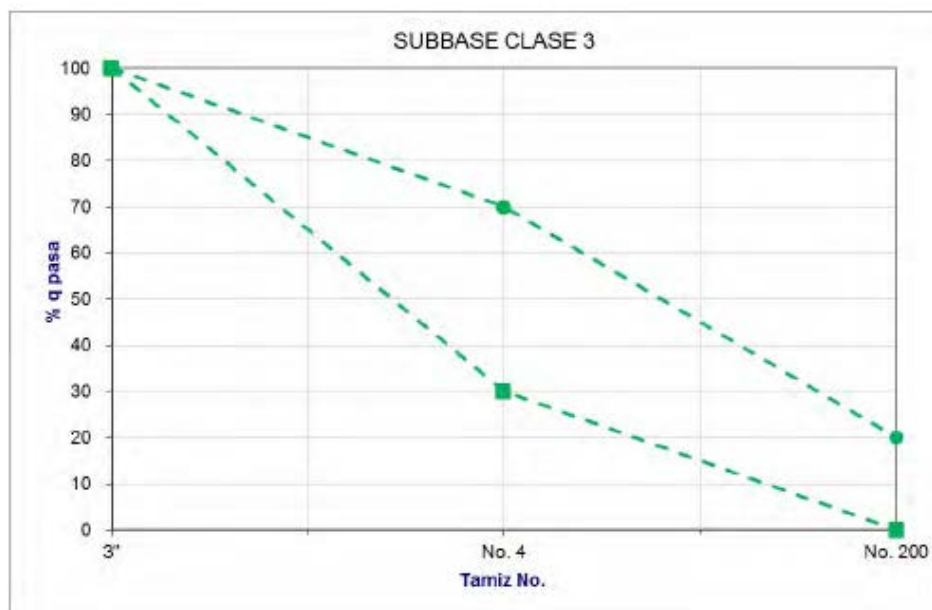
alcanzar la granulometria especificada. Este material debe cumplir con los requisitos comunes establecidos en la sección 816-2”

Figura 2.1.- Granulometría para las diferentes subbases

TAMIZ		SUBBASE CLASE 1		SUBBASE CLASE 2		SUBBASE CLASE 3	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
3”	76.2 mm						100
2”	50.4 mm	-	-		100		-
1 ½”	38,1 mm		100	70	100		-
Nº 4	4.75 mm	30	70	30	70	30	70
Nº 40	0.425 mm	10	35	15	40		-
Nº 200	0.075 mm	0	15	0	20	0	20

*Fuente (NEVI 2012)*

Figura 2 2.- Curva Granulométrica para subbase clase 3



**Curvas Granulométricas para Sub base**

*Fuente (NEVI 2012)*



## 2.4 Base Granular

Las capas en la estructura del pavimento flexible que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de rodadura o de la capa de liga se denomina capas de base (excepto en las repavimentaciones en las que se requiere una capa de nivelación para emparejar el pavimento viejo). Las capas de base pueden ser mezclas asfálticas, bases estabilizadas con aditivos o bases granulares. (MORALES CAMACHO, 2008)

Base es la capa de material seleccionado la cual se construye sobre la subbase, cuando la base está constituida por el mismo material de la subbase se denominará base.

La base es la capa más importante del pavimento y deben emplearse los materiales de la más alta calidad y se debe cumplir con rigurosidad las especificaciones ya que para esta capa son más exigentes, en cuanto a resistencia, plasticidad, granulometría y construcción.

### 2.4.1 Funciones de las base de un pavimento flexible

**Resistencia:** “La función principal de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.” (MONTEJO, 2008)

**Función económica:** “Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase con respecto a la base.” (MONTEJO, 2008)

**Drenaje.-** “Sirve como elemento de drenaje de las aguas que por ascensión capilar han atravesado la subbase o subrasante (cuando no existe la subbase) impide que llegue a la capa de rodadura.” (MONTEJO, 2008)

**Tráfico.-** Puede servir como capa de rodadura para el tráfico liviano.

### 2.4.2 Características que debe tener la base según el MTOP (NEVI-12)

La clase de base que debe utilizarse en la obra estará especificada en los documentos contractuales, en concordancia con el tipo de vía y su utilización(...) En todo caso, el límite líquido de la fracción que pase el tamiz N°40 deberá ser menor a 25 y el índice de plasticidad menor de 6. El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menor del 40 % y el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor a 80%. (MTOP, 2013)

**Tabla 2.3.-Características según el MTOP para bases**

<b>Características</b>	<b>Límites</b>
Abrasión debido al desgaste	< 40 %
Índice de Plasticidad	< 6
Límite Líquido	< 25
CBR	> 80 %

*Fuente (NEVI 2012)*

### **2.4.3 Bases estabilizadas**

“La dificultad de obtener materiales adecuados para base, o la necesidad de cumplir con las especificaciones establecidas, han incentivado a los estudios de estabilización de bases.” (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)

Una serie de materiales no son adecuados para utilizarlos como capa de base; son tratados con estabilizadores adecuados como cemento portland, asfalto y cal.

“Debe considerarse y tomar en cuenta la estabilización de bases en razón de las ventajas económicas que pueden resultar por el uso de agregados de bajos costos sino también por la reducción de los espesores de la capa de rodadura.” (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)

Los principales objetivos de estabilizar la capa base son los siguientes:

- Prevenir cambios volumétricos.
- Obtener la máxima densidad y estabilidad.
- Impermeabilizar.

Los tipos de bases estabilizadas son las siguientes:

- Bases estabilizadas con cloruro de sodio (sal común)
- Bases de suelo cemento.
- Bases estabilizadas con asfalto
- Bases estabilizadas con cemento portland.
- Bases estabilizadas con suelo cemento.

## **2.5 Capa de Rodadura**

La capa de rodadura es la capa final de la estructura del pavimento sobre esta circularán los vehículos; esta capa de la estructura del pavimento debe ser la más resistente por estar en permanente contacto con el medio; su acabado debe ser el mejor y debe tener un mantenimiento constante; además la capa de rodadura tiene por objetivo principal preservar las capas inferiores colaborando a la superficie resistencia, rugosidad, regularidad; la capa de rodadura no debe ser ni muy áspera ni lisa; por todas estas razones esta capa es la más costosa con respecto a las demás.

### ***2.5.1 Funciones de la capa de rodadura***

**Impermeabilidad:** Debe impedir el paso del agua al interior del pavimento, en la mayor posibilidad.

**Resistencia:** Su resistencia al corte complementa la capacidad estructural del pavimento.

**Seguridad.-** “Dar una superficie muy regular y antideslizante para que el tráfico sea cómodo y seguro y se pueda conducir a la velocidad de diseño de la carretera.” (MONTEJO, 2008)

**Protección.-** Protege a las demás capas que forman parte del pavimento en especial a la capa base.

### ***2.5.2 Tipos de Capa de Rodadura***

Las capas de rodadura varían desde suelos mejorados hasta capas de hormigón armado y se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### **1) Capas de rodadura granulares estabilizas con finos**

Estas capas de rodadura se las utilizan en carreteras de poca importancia y bajo nivel de tráfico, dentro de este grupo se puede incluir a las subrasantes mejoradas, bases de agregados y Macadam.

El término Macadam se refiere a la mezcla de agregado granular con un material bituminoso, estos agregados deben ser limpios libres de materia orgánica, piezas alargadas, polvo, material vegetal; los materiales asfálticos utilizados pueden ser cementos asfálticos, con diferentes grados de penetración: 85-100 y 120-250 calentados a temperaturas no mayores a 180°C, emulsiones asfálticas y asfaltos de curado rápido. (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)

## **2) Capas de Rodadura estabilizadas con asfalto**

También llamada capa de rodadura de material bituminoso, abarca diferentes aplicaciones de asfalto y asfalto-agregado, los tipos van desde simple hasta una ligera aplicación de asfalto líquido y mezclas sofisticadas como los hormigones asfálticos.

Las capas de rodadura estabilizadas con asfalto son altamente elaboradas y se emplea tanto en vías urbanas, autopistas, carreteras y en aeropuertos los cuales soportan una alta carga vehicular; se debe asegurar un buen soporte y además la capa base debe estar conformada con un material tratado poco deformable; los agregados de la capa de rodadura deben ser de buena calidad y la composición de la mezcla debe ser bien estudiada, las capas estabilizadas con asfalto contienen habitualmente entre el 5 y 8 % de asfalto.

Los asfaltos son aquellas sustancias de color oscuro que pueden estar en estado líquido, semi-sólido o sólido, compuestas esencialmente por hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono, su procedencia es de los yacimientos naturales de petróleo o se los puede obtener del residuo del crudo por destilación o extracción; sus cualidades aglutinantes y propiedades lo hacen óptimo para un sinnúmero de aplicaciones. (Reyes, 2003)

Las capas de rodadura estabilizadas con asfalto más utilizadas son las mezcladas en caliente estas son una combinación cerrada. Su pequeña porción de huecos hace que sean prácticamente impermeables, cumpliendo así el objetivo del de proteger a las demás capas, sin embargo; nunca son totalmente impermeables; en ocasiones la infiltración del agua puede darse a través de la grieta generada por diferentes esfuerzos. (Kramer , Pardillo , Rocci , Romana , Sánchez, & Del Val , 2004 )

## **3) Capas de Rodadura de Hormigón de Cemento Portland**

Es aquella capa que está formada con hormigón de cemento portland (mayor a 300 kg/cm<sup>2</sup>), consisten en una mezcla de agregados, agua y cemento; cuando se combinan estos materiales forman una masa plástica trabajable que en poco tiempo empieza a endurecer por la acción química que produce la mezcla de agua y cemento; con el transcurso del tiempo se forma una capa densa, dura con una considerable resistencia a la compresión y a la flexión.

El hormigón se emplea desde hace más de un siglo en pavimentos de diversa índole, su primera aplicación tuvo lugar en las calles de ciudades europeas, pero tiempo después apareció en Estados Unidos donde en 1909 se construyó la primera carretera con pavimento rígido para automóviles en la ciudad de Michigan, la construcción de este pavimento adquirió un gran auge, como ponen de manifiesto

los seiscientos millones de metros cuadrados existentes en 1925. En Europa se destaca la construcción acelerada de autopistas en Alemania antes de la segunda guerra mundial. (Kramer , Pardillo , Rocci , Romana , Sánchez, & Del Val , 2004 )

Las características de los pavimentos rígidos son las siguientes:

- Sirve para ilimitados volúmenes de tráfico.
- Libres de polvo.
- Tiene alto grado de visibilidad tanto en el día como en la noche.
- Bajos costos en el mantenimiento.
- Larga vida útil.
- Son antideslizantes.

El pavimento rígido absorbe aproximadamente el 90% del esfuerzo sobre la capa de rodadura, en ciertos casos cuando existen fisuras en los pavimentos de concreto se debe emplear acero de refuerzo, los esfuerzos producidos por los cambios volumétricos son absorbidos mediante la construcción de juntas longitudinales y transversales.

La función principal del pavimento de hormigón recae sobre la responsabilidad estructural y funcional, mientras que el de las capas inferiores es disipar los esfuerzos no controlados por la losa de hormigón, además asegurar su apoyo uniforme y estable; el espesor de la losa de hormigón puede ser inferior a 20 cm si el tráfico es muy ligero o llegar a 40 cm en algunas pistas de aeropuertos. (Kramer , Pardillo , Rocci , Romana , Sánchez, & Del Val , 2004 )

La losa de hormigón tiene un comportamiento bajo la acción de las cargas fundamentalmente elástico, incluso en condiciones severas de tráfico pesado, intenso, lento y elevadas temperaturas, no experimenta deformaciones visco plásticas. El Módulo de elasticidad supera los 40000Mpa, los espesores de los pavimentos indican que son estructuras muy rígidas con una gran capacidad de disipación de las tensiones verticales producidas por las cargas vehiculares. (Kramer , Pardillo , Rocci , Romana , Sánchez, & Del Val , 2004 )

Las juntas en el pavimento rígido son de gran importancia ya que en su proceso de retracción inicial y debido a las variaciones de volumen por cambios de temperatura y humedad hacen necesaria la construcción de juntas para la evitar la aparición de fisuras en el pavimento, muchas

de las cuales se dan directamente por influencia del tráfico, al mismo tiempo estas fisuras son perjudiciales para el pavimento ya que el agua se puede infiltrar y puede entrar partículas extrañas en la capa base, pudiendo formar bloques inestables. Por otro lado también son necesarias para facilitar el alabeo de las losas debido a las gradientes de temperatura y de humedad, además es necesario asegurar una cierta transmisión de carga de una losa a la contigua para evitar el escalonamiento durante el periodo de servicio.

Otra parte importante de esta capa de rodadura es la resistencia al deslizamiento en la cual se puede emplear una porción adecuada de arena sílice y dando al hormigón fresco una textura superficial adecuada mediante el arrastre de una arpillera y posterior cepillado, estriado o ranurado.

La calidad de la capa de rodadura depende de la regularidad superficial obtenida, en ella afectan los factores tales como la puesta a punto del pavimento y de sus acabados, la homogeneidad del hormigón, la maquinaria, los elementos de guiado.

“La apertura al tráfico se la debe realizar cuando el hormigón alcance su resistencia de diseño o sea al menos el 80 % a los 28 días, la limitación no suele ser relevante en obras nuevas, dado que se tiene más actividades en la vía como señalización, obras auxiliares, limpieza, etc.” (Kramer , Pardillo , Rocci , Romana , Sánchez, & Del Val , 2004 )

“Un pavimento de hormigón correctamente diseñado y construido requiere poca conservación, eventual sellado de juntas y grietas, reconstrucción de alguna losa y restauración de la macro textura.” (Kramer , Pardillo , Rocci , Romana , Sánchez, & Del Val , 2004 )

#### **4) Capas de Rodadura Articuladas**

Dentro de los pavimentos articulados se incluyen los adoquines de piedra y de hormigón hidráulico.

Los bloques de piedra natural fueron utilizados desde tiempos muy remotos, el mismo que por ser un material natural no precisa para su empleo más de la extracción y la transformación a elementos de forma adecuada, además deben cumplir una serie de propiedades físicas, mecánicas y químicas que garanticen su empleo. El adoquín de piedra debe estar formado por fragmentos resistentes y durables, deben tener la forma, dimensiones adecuadas y además la piedra debe cumplir con varios requisitos como tener las caras labradas y escuadradas;

resistente a la intemperie; de color uniforme y libre de intrusiones; preferiblemente la piedra debe ser de la misma cantera para que sus propiedades sean las mismas.

Por su parte el adoquín fabricado de hormigón es una pieza pre moldeada constituida en todo su masa por un hormigón homogéneo de características regulares, debe resistir a los esfuerzos a los que esté sometido una vez conformada la vía, el hormigón para la preparación de los adoquines estará formado por agregados gruesos y finos de forma redondeada. La resistencia del bloque será mínimo de  $300 \text{ kg/cm}^2$  para vías de tráfico de medio a ligero y no menor a  $400 \text{ kg/cm}^2$  para vías con tráfico pesado.

Los adoquines de hormigón tienen unas dimensiones que permiten ser manejados con una sola mano, tienen formas muy variadas, el cual puede ser horizontal o vertical, tienen un espesor entre 60 y 130 mm, se apoya sobre una capa de nivelación de arena de unos 30mm la cual también tienen la función de drenaje. (Kramer , Pardillo , Rocci , Romana , Sánchez, & Del Val , 2004 )

Los adoquines de hormigón se emplean fundamentalmente en zonas urbanas, portuarias, industriales; tanto para tráfico ligero, peatonal, y también para el tráfico pesado, en carreteras no suele tener interés, dado a su costo y a las exigencias del usuario actual en lo referente a la calidad de rodadura a alta velocidad. (Kramer , Pardillo , Rocci , Romana , Sánchez, & Del Val , 2004 )

## **5) Empedrados**

El empedrado consiste en preparar una capa de subbase en caminos vecinales y recubrirlas con cantos rodados o piedra partida, para conseguir su afirmación y protegerla de agentes externos se recomienda utilizar este tipo de capa de rodadura en caminos de tercer o cuarto orden de tráfico ligero a medio, el CBR de la subrasante para colocar el empedrado deberá ser mayor a 12 % , entre las ventajas que se puede encontrar en esta capa de rodadura son : bajo costo, procedimiento de colocación simple. (Salvador, Apuntes de Clase, 2012)

## Capítulo III

### 3.- ENSAYOS DE LABORATORIO

#### 3.1 Ensayos a realizarse

Para realizar los ensayos de laboratorio se ha utilizado las normas ASTM; en este capítulo se va a detallar cada ensayo realizado y en los anexos a este trabajo se presentan los resultados obtenidos.

##### 3.1.1 Muestreo de agregados

De acuerdo a la Norma ASTM D-75. Esta práctica incluye el muestreo de los agregados gruesos y finos para los siguientes fines:

- 1) Investigación preliminar de la fuente potencial de suministro.
- 2) Control del producto en la fuente de abastecimiento.
- 3) Control de las operaciones en el sitio de uso.
- 4) Aceptación o rechazo de los materiales.

El muestreo de agregados es importante por las siguientes razones:

- “La investigación y control varían con el tipo de construcción en el cual se utilizarán los agregados.” (Lara, 1978 )
- La investigación y el muestreo preliminar de las fuentes de suministro y los agregados locales, ocupan un lugar importante en la determinación de la disponibilidad y la factibilidad del elemento más importante en la construcción.
- Los agregados determinan el tipo de construcción desde el punto de vista económico, gobiernan el control y la calidad, para asegurar la durabilidad de la estructura resultante.

El muestreo de la mina “Piedras Verdes” se realizó al pie de la obra; se contó con una cargadora frontal para apilar el material, luego las muestras fueron tomadas de tres puntos como especifica en la norma: del tercio superior, medio e inferior.

***Procedimiento: Toma de muestras al pie de la obra:***




En los casos, que no sea factible visitar la planta se pueden obtener muestras al pie de la obra, antes de que sea descargado el material.

En el caso que no se cuente con equipos de energía, las muestras se harán por al menos tres incrementos tomadas desde el tercio superior, en el punto medio, y la tercera parte inferior de la elevación.

El número de muestras requerido, depende del uso actual del material, de la cantidad de material en estudio y de las variaciones tanto en calidad como en tamaño de los agregados.

En el gráfico 3.1 se puede observar el peso mínimo de muestras de campo del material granular que depende del tamaño máximo del agregado.

Figura 3.1.- Tamaño mínimo de muestras de campo

 **D75/D75M - 14**

**TABLE 1 Minimum Size of Field Samples**

Aggregate Size <sup>A</sup>	Field Sample Mass, min, kg <sup>B</sup> [lb]	Field Sample Volume, min, L [gal]
Fine Aggregate		
2.36 mm [No. 8]	10 [22]	8 [2]
4.75 mm [No. 4]	10 [22]	8 [2]
Coarse Aggregate		
9.5 mm [ $\frac{3}{8}$ in.]	10 [22]	8 [2]
12.5 mm [ $\frac{1}{2}$ in.]	15 [35]	12 [3]
19.0 mm [ $\frac{3}{4}$ in.]	25 [55]	20 [5]
25.0 mm [1 in.]	50 [110]	40 [10]
37.5 mm [ $1\frac{1}{2}$ in.]	75 [165]	60 [15]
50 mm [2 in.]	100 [220]	80 [21]
63 mm [ $2\frac{1}{2}$ in.]	125 [275]	100 [26]
75 mm [3 in.]	150 [330]	120 [32]
90 mm [ $3\frac{1}{2}$ in.]	175 [385]	140 [37]

*Fuente: Norma ASTM D-75*

En este caso como el tamaño máximo del agregado es de 3 pulgadas lo que equivale a 75 mm se necesitó mínimo 150 kilogramos para el muestreo.

Para un mejor trabajo en campo a continuación unas recomendaciones:

- Los agregados gruesos se deben transportar en bolsas o envases seguros.
- Los agregados finos deberán transportarse en bolsas cerradas que no permitan la pérdida del material.

*Fotografía 3.1.- Muestreo de Agregados*



*Fotografía 3.2.- Transporte de Agregados*



### ***3.1.2 Cuarteo manual de los agregados***

De acuerdo a la norma ASTM C-702 el alcance es el siguiente:

El ensayo cubre tres métodos para la reducción de las grandes muestras de agregado a tamaño adecuado para las pruebas empleando técnicas que están destinados a minimizar las variaciones en característica de las medidas entre las muestras de prueba por seleccionado y la gran muestra.

Los tres métodos que existen son los siguientes:

- Método A: Separador Mecánico
- Método B: Cuarteo
- Método C Muestreo de pila miniatura de almacenaje (para agregado fino húmedo)

Para la presente disertación se ha utilizado el método del cuarteo manual para obtener las muestras del laboratorio.

El cuarteo manual es un método que permite dividir a la muestra en diferentes partes con el objetivo de tener porciones de muestra en el mismo rango y porciones de agregados.

#### ***Procedimiento***

- Primero se debe colocar la muestra original en una superficie plana, limpia; donde no habrá pérdida de material ni presencia de materiales extraños.
- Luego hay que mezclar bien el material (homogenizar) girando toda la muestra más de tres veces, con el último giro se debe unir toda la muestra en una pila cónica depositando cada palada en la parte superior de la anterior.



*Fotografía 3.3.- Pila de materiales para realizar el cuarteo manual*



- Después cuidadosamente se debe aplanar la pila cónica a un espesor uniforme y el diámetro debe ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor; luego presionando hacia abajo el vértice con una pala se divide en cuatro partes iguales, se retirar los dos cuartos diagonales opuestos incluyendo todo el material fino, sucesivamente mezclar el material restante hasta que la muestra se reduce al tamaño deseado.

*Fotografía 3.4.- División en partes iguales para el ensayo*



### 3.1.3 Contenido de humedad natural

De acuerdo a la norma ASTM D-2216 el alcance del ensayo de contenido de humedad natural es el siguiente:

Este método de ensayo cubre la determinación de laboratorio del agua (humedad) contenida en masa de suelo, roca y materiales similares, donde la reducción de la masa por secado es debido a la pérdida de agua.

Para obtener la masa mínima de ensayo se debe conocer el tamaño máximo del agregado y ver en el gráfico 3.2.

Figura 3.2.- Masa mínima para el ensayo “Humedad Natural”

Maximum Particle Size (100 % Passing)		Method A Water Content Recorded to $\pm 1$ %		Method B Water Content Recorded to $\pm 0.1$ %	
SI Unit Sieve Size	Alternative Sieve Size	Specimen Mass	Balance Readability (g)	Specimen Mass (g)	Balance Readability (g)
75.0 mm	3 in.	5 kg	10	50 kg	10
37.5 mm	1-1/2 in.	1 kg	10	10 kg	10
19.0 mm	3/4 in.	250 g	1	2.5 kg	1
9.5 mm	3/8 in.	50 g	0.1	500 g	0.1
4.75 mm	No. 4	20 g	0.1	100 g	0.1
2.00 mm	No. 10	20 g	0.1	20 g	0.01

<sup>A</sup>If water content data is to be used to calculate other relationships, such as moist or dry mass, wet or dry unit weight or total or dry density, then specimen mass up to 1000 g must be determined unless balance accuracy is  $\pm 0.01$  g.

Fuente: Norma ASTM D2216

### Procedimiento

- Primero se determina la masa mínima, en este caso como el tamaño máximo del agregado es de 3 pulgadas se debe tener mínimo 5 Kg, luego hay que determinar y registrar la masa húmeda junto con su identificación.
- Posteriormente se seca las muestras en el horno a una temperatura uniforme ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ).
- Por último pasado de 16 a 24 horas se determina la masa de la muestra seca.

### Cálculos y resultados

La humedad total de la muestra se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$w\% = \frac{M - A}{A} * 100$$

*Ec (3.1)*

Donde.-

W%= Contenido de humedad natural (%)

M= Masa de la muestra original (gr.)

A= Masa de la muestra seca (gr.)

*Fotografía 3.5.- Ensayo contenido de humedad natural*



### **3.1.4 Granulometría de los agregados**

De acuerdo a la norma ASTM C-136 el alcance del ensayo de Granulometría de los agregados es el siguiente:

- Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución de partículas del tamaño de agregados finos y gruesos por el método de tamizado.
- Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partícula con especificaciones aplicable a requisitos; proporcionar los datos

necesarios para el control de la producción de diversos productos de agregado y mezclas que contienen agregados.

### ***Procedimiento***

- Primero se debe secar la muestra hasta obtener una masa constante a una temperatura de 110 °C
- Posteriormente se debe seleccionar tamices con aberturas adecuadas para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubren el material para ser probado; hay que utilizar tamices adicionales cuando sea necesario para proporcionar otra información como por ejemplo (módulo de finura, o para regular la cantidad de material sobre un tamiz).
- Se debe ordenar de una forma decreciente los tamices a ser utilizados; desde el tamaño de la abertura mayor hasta el tamaño menor y en la parte final una bandeja.
- Después se debe agitar los tamices a mano o por un aparato mecánico para un periodo suficiente, establecido por juicio o controladas por la medición de la muestra real de la prueba a cumplir.
- Por último determinar la masa de cada incremento de tamaño en una escala o balance de la masa de la muestra seca total original. El total de la masa del material después del tamizado debe comprobar estrechamente con masa original de la muestra colocada en los tamices. Si las cantidades difieren en más de 0.3% basado en la muestra original seca los resultados no deben ser utilizados.

### ***3.1.5 Gravedad específica del agregado grueso***

De acuerdo a la norma C-127 el alcance del ensayo de Gravedad Específica del agregado grueso es el siguiente:

Este método de ensayo cubre la determinación de la relación de la densidad (peso específico) y la absorción de agregados gruesos, la densidad relativa, la densidad saturada con superficie seca (SSS) y la densidad aparente.

Densidad se define como la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa; la densidad de un cuerpo se asocia con su flotabilidad, una sustancia flotara sobre otra si su

densidad es menor, como el caso del agua y el aceite; el aceite flota sobre el agua por tener una menor densidad; la gravedad específica se define como la relación entre la densidad de una sustancia dada con la densidad del agua en una temperatura igual a 4°C.

### ***Procedimiento***

- Primero secar la muestra en el horno a una temperatura constante de 110 °C durante 24 horas.
- Pasado el tiempo de secado, sumerja el agregado grueso en agua a temperatura ambiente durante 24 horas.
- Posteriormente se determina la masa de la muestra saturada con superficie seca; se toma la muestra y se coloca en la cesta de alambre; luego se sumerge la muestra en el agua y se determina la masa de la muestra sumergida.

*Fotografía 3.6.- Masa sumergida de agregado grueso después del ensayo*



- En seguida se saca la muestra del agua y se seca en el horno a temperatura uniforme ( $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ).
- Luego se determina la masa de la muestra cada intervalo de dos horas; cuando no existe variación de masa en la muestra durante dos intervalos consecutivos, se saca la muestra del horno y se deja enfriar,
- Finalmente se determina la masa de la muestra seca.



## ***Cálculos y Resultados***

### **-Gravedad específica Bulk**

$$Ge = \frac{A}{B - C}$$

*Ec (3.2)*

Dónde:

Ge = Gravedad específica Bulk

A = Masa de la muestra seca (gr.)

B = Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr.)

C = Masa de la muestra sumergida en el agua (gr.)

### **-Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca**

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

*Ec (3.3)*

Dónde:

Ges = Gravedad específica del material saturado con superficie seca.

### **-Gravedad Específica Aparente:**

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

*Ec (3.4)*

Dónde:

Gea = Gravedad específica aparente

### **-Porcentaje de Absorción:**

$$AB = \frac{B - A}{A}$$

*Ec (3.5)*

Dónde:

Ab = Porcentaje de absorción

### ***3.1.6 Gravedad específica del agregado fino***

Según la Norma ASTM C128 el alcance del ensayo gravedad específica del agregado fino es el siguiente:

Este método de ensayo cubre la determinación de la relación de densidad (peso específico) y la absorción de agregados finos, la densidad relativa, la densidad del material saturada con superficie seca y la densidad aparente.

#### ***Procedimiento***

- Primero la muestra se sumerge en agua por un periodo de 24 +- 4h.
- Pasada las 24 horas, introducir en el picnómetro 500 gramos de superficie saturada con superficie seca y llene con agua adicional aproximadamente el 90 % de la capacidad, agite el picnómetro manual o mecánicamente, hasta eliminar las burbujas de aire.
- Luego se debe determinar la masa de agua más la del picnómetro con suelo.
- Por otra parte se tendrá una masa del mismo peso 500 gr la cual se debe poner en el horno y esperar 24 horas para tomar su peso.

### ***3.1.7 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos***

Según la Norma ASTM C88 el alcance del ensayo durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos es el siguiente:

Este método de ensayo cubre la prueba de los agregados a estimar su solidez cuando se someten a la acción de la intemperie en hormigón u otras aplicaciones. Esto se logra con una inmersión repetida en soluciones saturadas de sodio o de magnesio de sulfato despolimerizado, seguido de secado al horno parcialmente o completamente deshidratado, la sal precipita en los poros permeables los vacíos. La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de sal en al reinmersión, simula la expansión de agua en congelación.

Este método de prueba proporciona información útil para juzgar la solidez de los agregados cuando la información no es la adecuada y no está disponible en los registros de servicio del material expuesto a condiciones reales de meteorización.

Además este ensayo provee de información que ayudará a juzgar la resistencia de los agregados sujetos a la acción del clima.

### ***3.1.8 Desgaste a la abrasión en la máquina de los ángeles.***

De acuerdo a la Norma ASTM C131 el alcance del ensayo desgaste a la abrasión en la máquina de los ángeles es el siguiente:

Este método de ensayo cubre un procedimiento para la prueba de agregados gruesos con un tamaño menor que 37,5 mm, para la resistencia a la degradación mediante la prueba en la máquina de los Ángeles.

El desgaste es una de las propiedades más importantes cuando al material se le destina al uso de pavimentos debido a las exigencias de carga que debe resistir, la duración del tráfico y el impacto.

#### ***Procedimiento***

Previamente se determina la carga de abrasión, que depende del tipo de granulometría de la muestra y debe ser igual al de la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.- Masa de la carga de abrasión**

<i>GRADACION</i>	<i>NUMERO DE ESFERAS</i>	<i>MASA DE LA CARGA</i> <i>g.</i>
<i>A</i>	<i>12</i>	<i>5.000 ± 25</i>
<i>B</i>	<i>11</i>	<i>4.584 ± 25</i>
<i>C</i>	<i>8</i>	<i>1.320 ± 25</i>
<i>D</i>	<i>6</i>	<i>2.500 ± 25</i>

*Fuente: Manual Visualizado de Materiales de Construcción. (Lauro Lara)*

En este caso como el material tiene como tamaño máximo 3 pulgadas se escoge el método A, que va a tener 12 esferas y la masa de la carga es de 5000 gramos.

Luego escogido el método a utilizarse en el ensayo se acude a la Tabla 3.2 para ver la distribución de la masa de la carga.

**Tabla 3.2.- Gradaciones de las muestras de ensayo**

TAMAÑO DEL TAMIZ				MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g.) GRADACION			
PASA		RETIENE		A	B	C	D
1 ½	38.1	1	25.4	1250±25			
1	25.4	¾	19.0	1250±25			
¾	19.0	½	12.7	1250±10	2500±10		
½	12.7	3/8	9.5	1250±10	2500±10		
3/8	9.5	No. 3	6.3			2500±10	
No. 3	6.3	No. 4	4.76			2500±10	
No. 4	4.76	No. 8	2.36				5000±10
TOTAL				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

*Fuente: Manual Visualizado de Materiales de Construcción. (Lauro Lara)*

- Para realizar el ensayo primero se lava el material granular, con el objeto de eliminar partículas finas adheridas al agregado.
- A continuación se seca el agregado hasta que la masa sea constante, a una temperatura uniforme de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.
- Luego se fracciona el agregado de acuerdo a la gradación adoptada, utilizando los tamices correspondientes.
- Se determina la masa total inicial de la muestra a ensayarse.
- Se coloca el agregado y la carga de abrasión dentro de la máquina de los Ángeles.
- Se gradúa la máquina de tal manera que se pare luego de 500 revoluciones, la máquina debe tener una velocidad de rotación uniforme entre 30 y 33 rpm.
- Se descarga el material, y se tamiza por lavado utilizando el tamiz No. 12 (1.7 mm).
- Se seca el material retenido en el tamiz No. 12 hasta que mantenga la masa constante o una temperatura uniforme de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.
- Se determina la masa seca de la muestra retenida en el tamiz No. 12.

## ***Cálculos y resultados***

### **Desgaste a la abrasión**

$$C = A - B$$

*Ec (3.6)*

Dónde:

C = Material que pasa el tamiz No. 12 (g.)

A = Masa inicial de la muestra (g.)

B = Masa sostenida en el tamiz No. 12 (g.)

### **Porcentaje de Desgaste**

$$\% \text{ de desgaste} = C \times 100 / A$$

*Ec (3.7)*

#### ***3.1.9 Terrones de arcilla en los agregados.***

De acuerdo a la norma ASTM C-142 el alcance del ensayo Terrones de Arcilla en los Agregados es el siguiente:

Este método de ensayo cubre la determinación aproximada de los terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados.

En el agregado grueso, las fracciones se deben ensayar por separado.

Los agregados en ocasiones puede verse afectados por agentes contaminantes como material orgánico que se origina por la descomposición de componentes vegetales, estas impurezas pueden afectar al agregado en reacciones de hidratación o reduciendo su resistencia.

### ***Procedimiento***

- Primero se determina la masa inicial de cada fracción a ensayarse.
- Posteriormente se extiende la muestra en una capa delgada en el fondo de un recipiente y se sumerge en agua.
- Después de 24 horas, con el objeto de que reblandezcan los terrones de arcilla, se remueve el agregado aplastando con los dedos.

- Una vez que se hayan desmenuzado todos los terrenos de arcilla visibles, se lava la muestra utilizando los tamices indicados en la Tabla 3.3
- El material retenido en el tamiz, se seca en el horno hasta que mantenga la masa constante a una temperatura uniforme de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Por último se determina la masa de la muestra seca.

**Tabla 3.3.- Tamices de lavado**

<i>TAMAÑO DE LAS PARTICULAS</i>				<i>TAMAÑO DEL TAMIZ DE LAVADO</i>	
<i>PASA</i>		<i>RETIENE</i>			
<i>Pulg.</i>	<i>mm.</i>	<i>Pulg.</i>	<i>mm.</i>	<i>Pulg.</i>	<i>Mm.</i>
<i>3/8</i>	<i>9.5</i>	<i>No. 4</i>	<i>4.76</i>	<i>No. 8</i>	<i>2.36</i>
<i>3/4</i>	<i>19.0</i>	<i>3/8</i>	<i>9.50</i>	<i>No. 4</i>	<i>4.76</i>
<i>1 1/2</i>	<i>38.1</i>	<i>3/4</i>	<i>19.0</i>	<i>No. 4</i>	<i>4.76</i>
<i>Más de 1 1/2"</i> <i>(38.1)</i>				<i>No. 4</i>	<i>4.76</i>

*Fuente: Manual Visualizado de Materiales de Construcción. (Lauro Lara)*

### **Cálculos y resultados**

#### **Agregado fino**

El porcentaje de arcilla en terrones, se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{M - R}{M} * 100$$

*Ec (3.8)*

Dónde:

P = Porcentaje de arcilla en terrones

M = Masa inicial de la muestra (gr.)

R = Masa seca de la muestra retenida en el tamiz No. 20 (0,84 mm.) (gr)

#### **Agregado grueso**

Se calcula el porcentaje de arcilla en terrones para cada fracción con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{M - R}{M} * 100$$

*Ec (3.9)*

Dónde:

P = Porcentaje de arcilla en terrones para cada fracción

M = Masa inicial de la muestra (gr.)

R = Masa seca de la muestra retenida en el tamiz de lavado, después (gr.)

### **Porcentaje Parcial de Arcilla**

$$Pp = \frac{\%Retenido\ Parcial * P}{100}$$

*Ec (3.10)*

Dónde:

Pp = Porcentaje parcial de arcilla en terrones

P = Porcentaje de arcilla en terrones para cada fracción

**Nota.-** El % retenido parcial es un valor retenido a la granulometría original.

Cuando se tenga un % retenido parcial menor al 5% no es necesario realizar el ensayo para esa fracción, y el valor de P, se tomará el próximo más desfavorable.

### **Porcentaje de Arcilla**

$$Pa = \Sigma Pp$$

*Ec (3.11)*

Dónde:

Pa = Porcentaje de arcilla en terrones del agregado

$\Sigma Pp$  = Sumatoria de los porcentajes parciales

### **3.1.10 Determinación del Índice de Actividad Puzolánica**

Según la norma ASTM C-618 el alcance del ensayo de Determinación del Índice de Actividad Puzolánica es el siguiente:

Este ensayo cubre la prueba de cobertura de muestreo y pruebas de ceniza volantes y puzolanas primarias o calcinadas para su uso en hormigón de cemento Portland.

La arena utilizada para hacer la prueba deberá ser de sílice natural.

Las puzolanas son materiales naturales o artificiales, que por su propia estructura molecular poseen poco o algún valor cementante.

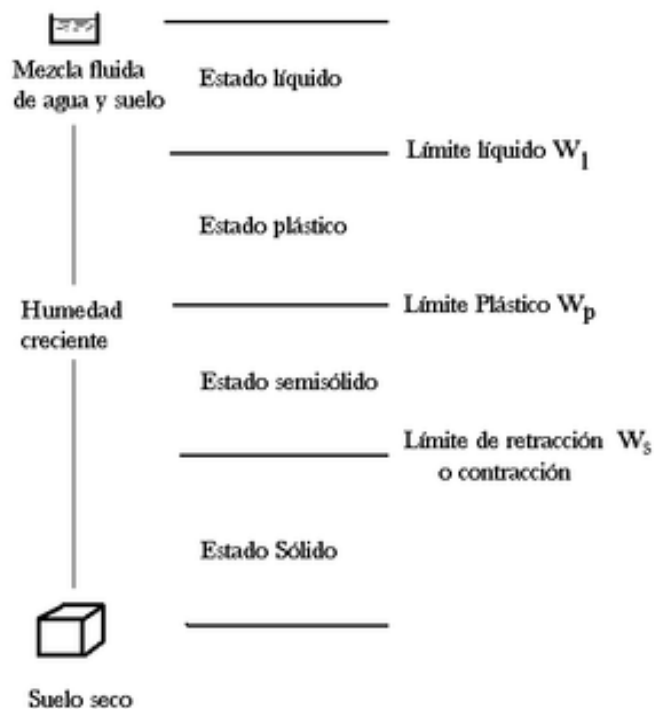
### 3.1.11 Límites de Atterberg

Según la norma ASTM C-4318 el alcance del ensayo Límites de Atterberg es el siguiente:

Este método de ensayo cubre la determinación del límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos.

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo puede existir 4 estados de consistencia según su contenido de agua; un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia: sólido cuando el volumen no varía con el secado; semisólido cuando el suelo tiene una apariencia de un sólido pero aun disminuye su volumen al momento de estar sujeto a secado; plástico cuando el suelo se comporta plásticamente; líquido con las propiedades y apariencia de una suspensión . (JUAREZ BADILLO Eulalio, 1976)

Figura 3.3.- Estados de consistencia según su humedad



Fuente.- Tesis de Grado FIGUEROA J, ÁVALOS B (2007)



Los contenidos de humedad en las fronteras de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

**Límite Líquido.-** Es el valor frontera cuando el suelo pasa de un estado líquido a un estado plástico y puede moldearse. Para determinar este valor se utiliza la copa de Casagrande.

**Límite Plástico.-** Es el valor frontera cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

**Límite de contracción.-** Es el valor frontera de un suelo cuando pasa de un estado semisólido a un estado seco o sólido y se contrae por la pérdida de humedad.

**Índice de Plasticidad.-** Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.  $IP=LL-LP$

### **3.1.12 Próctor Modificado**

Según la norma ASTM C-1557 el alcance del ensayo Próctor Modificado es el siguiente:

#### **Alcance**

Este método de prueba es aplicable a métodos de compactación de laboratorio utilizados para determinar la relación entre el agua del moldeo del contenido y la densidad seca máxima en suelos (Curva de Compactación) en un molde de (101.6 o 152.4 mm) de diámetro con un apisonador de 10.00 Lbf (44.48 N) dejando caer desde una altura de (457.2mm) produciendo un esfuerzo de compactación de (2700kN .m/ m<sup>3</sup>) (Salvador, Prácticas de Laboratorio de Pavimentos, 2012)

Estos métodos de prueba solo se aplican a los suelos (materiales) que han sido retenidos por lo menos el 30 % o menos en peso de sus partículas es en el tamiz  $\frac{3}{4}$  de entrada (19mm) y no han sido previamente compactados.

Se proporcionan 3 métodos alternativos; el método utilizado debe ser como se indica en la especificación para el material, si no se especifica ningún método, la elección debe ser basada en la gradación del material.

Un suelo con contenido de agua de moldeo seleccionado se coloca en cinco capas en un molde de dimensiones dadas, con cada capa compactada en 25 o 56 golpes de un pistón de 10,00 lbf (44.48 N) caído desde una distancia de (457,2mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación. Se determina el peso unitario seco resultante, el procedimiento se repite para un

número suficiente de moldeo contenidos en agua para establecer una relación entre la unidad seca peso y el contenido de agua de moldeo para el suelo.

Estos datos se representan mediante una relación curvilínea conocida como curva de compactación, los valores de contenido óptimo de agua y peso máximo seco se determina a partir de la curva de compactación

### ***Preparación***

- Primero se debe seleccionar el molde de compactación adecuado, cuello y base de la placa de acuerdo con el método (A,B,C) que se utiliza, se debe comprobar que el volumen del molde sea un valor conocido, y que esté libre de abolladuras.
- Posterior se debe preparar las muestras de suelo para las pruebas de conformidad.
- De la fracción de prueba, seleccionar y preparar al menos cuatro (preferiblemente cinco) muestras de suelo contenidos con el agua de moldeo de tal manera que entre paréntesis el contenido de agua óptimo sea el estimado, la cantidad de agua varía en un 2 %.

*Fotografía 3.7.- Preparación de fundas para el ensayo Próctor Modificado*



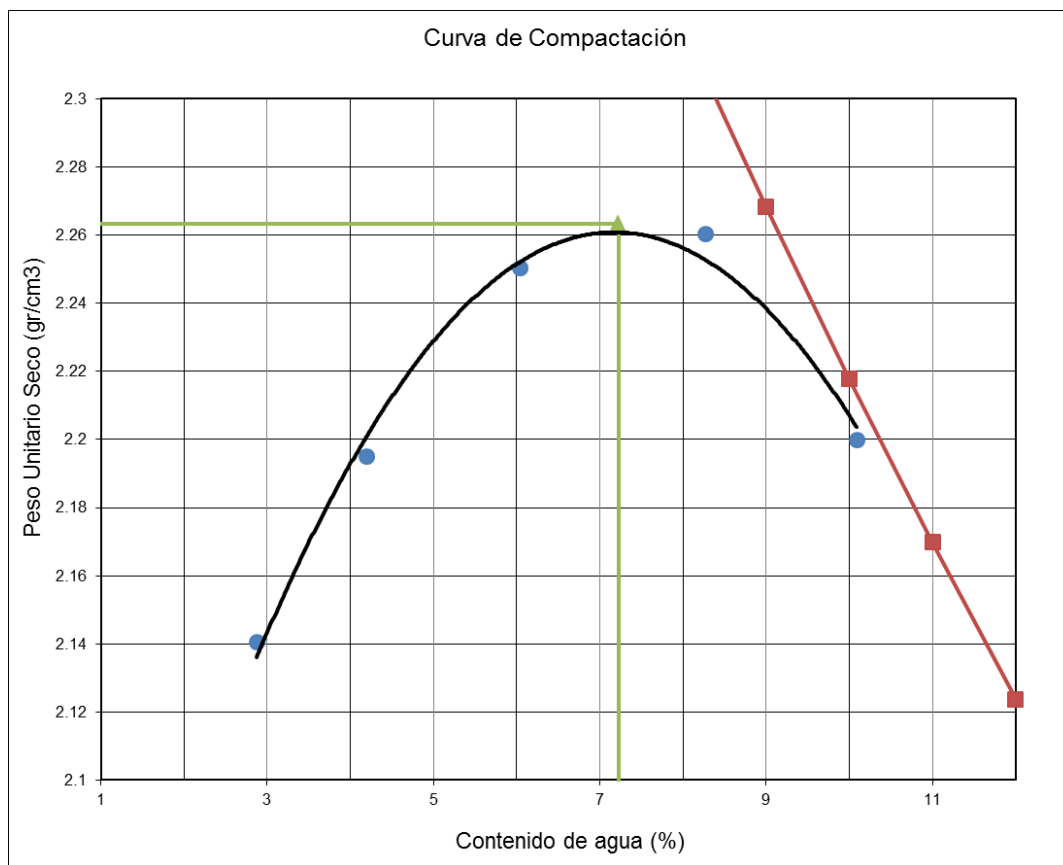
- Algunos suelos con alto contenido de agua no deben exceder del 4 % de variación entre punto y punto.

De acuerdo al tipo de suelo de la presente disertación el método de compactación del ensayo Próctor Modificado es el método A el cual el procedimiento es el siguiente.

***Procedimiento***

- Para realizar el ensayo primero se debe colocar la muestra del suelo con el contenido de humedad seleccionado en cinco capas, cada capa se compacta con 56 golpes de un martillo de 44.48N que se deja caer de una altura de 457,2mm produciendo un esfuerzo de compactación de  $2700 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}^3$ .
- Posteriormente se determina el peso unitario resultante y se toma dos muestras para conocer el porcentaje de humedad en la cual han sido compactadas los especímenes.
- El procedimiento se repite para un número suficiente de contenidos de agua en la cual se establece una relación entre porcentaje de humedad y peso unitario seco, de preferencia se debe tener 2 puntos de suelo en estado húmedo y 2 puntos de suelo en estado seco.
- Luego se grafican los datos obtenidos que están en función de la relación de contenido de humedad y peso unitario seco; de la gráfica se obtendrá una relación curvilínea que representa la curva de compactación.
- Finalmente se determina el valor máximo de la curva la cual será la densidad seca máxima y se la proyecta hacia la humedad la cual será el valor óptimo de compactación.

Figura 3.4.- Curva de Compactación



**Nota.-** No reutilice el suelo que ha sido compactado previamente en el laboratorio. La reutilización de los rendimientos del suelo previamente compactados será significativamente mayor.

### 3.1.13 CBR (*California Bearing Ratio*)

Según la norma ASTM D-1883 el alcance del ensayo CBR (*California Bearing Ratio*) es el siguiente:

#### **Alcance**

El método C.B.R. (Relación de Soporte de California) fue propuesto en 1929 por los ingenieros Staton y Porter del departamento de carreteras del Estado de California. Este método se ha generalizado y es, hoy en día, uno de los más empleados para determinar las características de un suelo; en ciertos países ya no se ocupa este método pero en el Ecuador se mantiene el uso. (Salvador, Prácticas de Laboratorio de Pavimentos, 2012)

Este método de ensayo cubre la determinación del Índice de California (CBR) de la subrasante, sub-base y los materiales del curso de base a partir de las muestras de laboratorio compactado.

Dado que el comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su “grado de alteración”, con su granulometría y sus características físicas, el método a seguir para determinar el C.B.R., será diferente en cada caso. Así tenemos:

- 1.-Determinación del C.B.R. de suelos perturbados y remoldeados.
- 2.- Gravas y arenas.
- 3.- Suelos cohesivos, poco plásticos y poco o nada plásticos.
- 4.- Suelos cohesivos y expansivos.
- 5.- Determinación del C.B.R. de suelos inalterados.
- 6.- Determinación del C.B.R. “*In situ*”. (Salvador, Prácticas de Laboratorio de Pavimentos, 2012)

### **Definición.**

“El índice de California (C.B.R.) es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas.” (Salvador, Prácticas de Laboratorio de Pavimentos, 2012)

“El ensayo CBR, mide la carga necesaria para penetrar un pistón de  $19\text{cm}^2$  de área a una velocidad constante de  $(1,27\text{mm /min}-0.5\text{pul/min})$  en una muestra saturada y sometida a una sobrecarga, la cual asemeja a un pavimento colocado sobre la subrasante.” (Lascano & Narváez Sánchez, Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una subbase granular proveniente de la provincia de Esmeraldas por medio de la adición de desechos de PVC "Tesis de Grado", 2010)

### **Procedimiento**

#### **1) Determinación de la densidad máxima y humedad óptima.**

- La determinación de la densidad seca máxima y humedad óptima depende del ensayo “Próctor Modificado”, hay que tener en cuenta que el material tendrá una humedad natural la cual se la debe considerar para el cálculo de la humedad óptima.

## **2) Determinación de la muestra para C.B.R**

- Primero se prepara y pesa 3 moldes C.B.R., se unen estos y sus anillos de extensión a las placas de base. Hay que poner un disco espaciador sobre la placa de base de cada molde.
- Posteriormente se compacta tres muestras, tomando de las capas superior e inferior de cada una y antes de compactarlas, porciones de suelo para calcular el contenido de humedad. Se compacta el primer molde a 56 golpes, el segundo molde con 25 golpes y el tercer molde con 11 golpes por capa.
- Luego de la compactación se quita el anillo de cada uno de los moldes, con la barra espaciadora y un cuchillo se recorta la muestra al ras con el borde, se pesa el material más el molde en la balanza.

## **3) Saturación de la muestra.**

- Para la saturación del espécimen primero se coloca un papel filtro sobre la parte superior de la muestra. Luego se sitúa la placa perforada con vástago ajustable sobre el papel filtro y a continuación se pone el número requerido de pesas sobre la placa.
- El trípode con el cuadrante medidor de deformaciones se coloca sobre el canto del molde y se ajusta al vástago de la placa perforada. Se registra la lectura de la esfera y se quita el trípode.
- Se sumerge las muestras en un tanque lleno de agua y se las deja saturar durante cuatro días (mínimo), hasta que está completamente saturada y no se dilate más.

**Nota-** Para reproducir las condiciones del campo, la muestra se satura bajo una sobrecarga que equivale al peso producido por el suelo base o pavimento que descansará sobre el material una vez terminada la estructura.

## **4) Ensayo de penetración.**

- Después de cuatro días se saca los moldes, se vierte el exceso de agua de la superficie y se deja escurrir en posición vertical durante diez minutos aproximadamente.
- Se quita las pesas, la placa perforada y el papel filtro; se pesa la muestra más el molde en la balanza y luego se procede a realizar el ensayo.

- Para proceder al ensayo de penetración primero se coloca pesas de sobrecarga sobre la muestra, lo que equivale al peso del afirmado que descansará sobre el material.
- Posteriormente se coloca el molde sobre el soporte de carga del gato y se ajusta de manera que el pistón esté centrado con la muestra. Luego se eleva el gato hasta que el pistón esté cargado con un peso de 10 libras. Al final se pone el indicador de presión del gato hidráulico en cero.
- Luego se ajusta el deformímetro de modo que su vástago se apoye en borde del molde, poniendo la lectura en cero.
- Se aplica carga suavemente por medio del gato hidráulico, de manera que la velocidad de penetración del pistón sea aproximadamente 0.05" por minuto. La velocidad en aplicación de la carga se puede controlar por tiempo con un cronómetro.
- Se registran las lecturas de la presión a 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5" de penetración y se descarga el gato, se retira el molde del soporte de carga y se quita las pesas y la placa de base.
- Finalmente se toma una muestra de la parte superior e inferior, para hallar el contenido de humedad.

*Fotografía 3.8.- Equipo para realizar el ensayo de penetración*





### ***3.1.14 CBR (California Bearing Ratio) añadiendo el PVC de reciclaje***

El alcance de este ensayo es determinar el CBR (Relación de Soporte de California) de la subbase clase 3 unida con el PVC de reciclaje proveniente de la ropa industrial en sus diferentes dosificaciones al peso (3%,5%,7%,9%,11%) para determinar el porcentaje óptimo de mezcla.

#### ***Preparación***

- Primero se debe realizar el ensayo “Próctor Modificado” con las diferentes dosificaciones al peso, para encontrar cual es la densidad seca máxima y el porcentaje de humedad óptimo.
- Una vez encontrado los valores, por un lado se prepara 3 moldes para realizar el ensayo del CBR (el molde, los anillos y las pesas); por otro lado se mezcla el material granular con el PVC de reciclaje.

*Fotografía 3.9.- Mezcla del material granular con el PVC de reciclaje*



- Posteriormente se vierte el material en el molde, se toma muestras en la parte superior e inferior para determinar la humedad y se compacta los moldes del CBR con el martillo de (44,48N) a una altura de (457,2mm) en cinco capas de 56, 25 y 11 golpes correspondientemente.



*Fotografía 3.10.-Muestra del ensayo CBR para determinar el % de humedad*



*Fotografía 3.11.- Compactación por capas en los moldes*



- Luego se toma los pesos unitarios de los 3 moldes, se coloca el papel filtro, las pesas, el trípode y se procede a sumergir los especímenes por el lapso de 4 días.
- Pasados los 4 días se saca los moldes del agua, se los deja escurrir por un lapso de 10 minutos, se pesa el molde más la muestra y se registra el dato.
- Una vez registrado el dato la muestra está lista para realizar el ensayo de penetración.

*Fotografía 3.12.- Material mezclado, compactado y saturado listo para el ensayo de penetración*



- Para el ensayo de penetración se lo realiza de la misma forma que se detalla en el punto (3.1.13) “Ensayo de penetración”

## **Capítulo IV**

### **4.-RESULTADOS**

En este capítulo se analizarán los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a los agregados; además a las mezclas de la subbase en estado natural y añadiendo el PVC de reciclaje.

Dicho análisis se realizó comparando los resultados de la subbase granular en estado natural con los resultados añadiendo el PVC de reciclaje en las diferentes dosificaciones al peso (3%,5%,7%,9%,11%), mediante el ensayo CBR de laboratorio.

Los resultados de los ensayos se presentan en cuadros de resumen para facilitar el análisis.

#### **4.1 Análisis de Resultados**

Los valores obtenidos en la presente disertación son empleados como parámetros de comparación entre la subbase en estado natural y la subbase modificada con el PVC de reciclaje proveniente de la ropa industrial.

- Mediante los diversos ensayos de laboratorio realizados a los agregados que forman parte de la subbase clase 3 de la mina “Piedras Verdes”, se comprobó la homogeneidad de sus materiales, y además que resulta apto para utilizar como subbase ya que cumple con todas las especificaciones que establece el MTOP, se puede observar los resultados en la tabla 4.1.
- El agregado proveniente de la mina “Piedras Verdes” tiene un buen comportamiento debido al desgaste producido por el sulfato de sodio ya que en el ensayo su desgaste resulto del 11.04% menor al 12 % que se establece en la norma para utilizar en hormigón.
- Mediante el ensayo de índice de actividad puzolánica se pudo determinar que el material tiene un alto grado de puzolana pero no el suficiente para considerarlo como un material cementante.
- El resultado de la mezclas en las dosificaciones no fue el esperado ya que solo en el intervalo de (1-3%) de su dosificación aumenta el CBR de laboratorio esto se puede evidenciar en la tabla 4.10.

#### 4.1.1 Resultados de la subbase clase 3

**Tabla 4.1.- Resultado Subbase Clase 3**

<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

Ensayo	Norma	Valores Normados		Valores Obtenidos		Observaciones
Humedad Natural	ASTM C-566	No especifica		1.57 %		NE
Granulometría	C-136	75 mm	100%	75 mm	100%	Cumple
		4.75mm	30-70 %	4.75mm	55 %	
		0.075mm	0-20 %	0.075mm	14 %	
Gravedad Especifica AG.Grueso	C-128	Ge(gr/cm3)	NE	Ge(gr/cm3)	<b>2.83</b>	NE
		Ges(gr/cm3)	NE	Ges(gr/cm3)	2.85	
		Ga(gr/cm3)	NE	Ga(gr/cm3)	2.9	
		Ab (%)	NE	Ab (%)	0.72	
Gravedad Especifica AG.Fino	C-127	Ge(gr/cm3)	NE	Ge(gr/cm3)	<b>2.57</b>	NE
		Ges(gr/cm3)	NE	Ges(gr/cm3)	2.7	
		Ga(gr/cm3)	NE	Ga(gr/cm3)	2.86	
		Ab (%)	NE	Ab (%)	3.84	
Durabilidad debido a los sulfatos	C-88	< 12 %		11 %		Cumple
Desgaste a la abrasión “Los Ángeles”	C-131	< 50%		15 %		Cumple
Terrones de Arcilla en los Agregados	C-142	NE		1.17		NE
Determinación del Índice de Actividad puzolánica	C-618	80		68		No cumple
Límite Líquido	C-4318	< 25		16		Cumple
Índice Plástico	C-4318	<6		0.64		Cumple
CBR (estado natural )	D 1883	>= 30 %		27 (0.1 pul)		No cumple
				35 (0.2 pul)		Cumple

#### 4.1.2 Resultados del PVC y poliéster

**Tabla 4.2.- Resultado PVC y Poliéster**

<b>Norma:</b>	ASTM C88	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3		

##### **PVC de Reciclaje**

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Peso Unitario</b>	576-643	gr/m2
<b>Tensión Longitudinal</b>	430	N
<b>Elongación Transversal</b>	40	%
<b>Tensión Transversal</b>	430	N
<b>Elongación Transversal</b>	60	%
<b>Rasgado Longitudinal</b>	30	N
<b>Rasgado Transversal</b>	25	N
<b>Adherencia Longitudinal</b>	18	N/2.5cm

##### **Poliéster**

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso Total	400-465	gr/m2
Tensión Longitudinal	29	kgf
Elongación	60	%
Adhesión	1.5	kgf/pul

#### 4.1.3 Resultados de la mezcla en Estado Natural

**Tabla 4.3.-Resultado Subbase Clase 3 en estado natural**

<b>Fecha:</b>	jul-15
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3

<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

##### **Próctor Modificado**

	Densidad Seca Max	% Humedad
<b>Punto 1</b>	2.272	1.57
<b>Punto 2</b>	2.349	4.13
<b>Punto 3</b>	2.366	6.13
<b>Punto 4</b>	2.290	7.99
<b>Óptimo</b>	<b>2.366</b>	<b>5.05</b>

##### **CBR**

Ensayo	Densidad Antes	Densidad Después	Humedad Antes	Humedad Después
<b>56 golpes</b>	2.361	2.375	5.15	6.51
<b>25 golpes</b>	2.183	2.192	5.38	7.31
<b>11 Golpes</b>	1.839	1.868	5.61	7.57

Ensayo	0.1 Pul	0.2 Pul	CBR OBTENIDO
<b>90%</b>	16	23	31
<b>95%</b>	21	29	
<b>100%</b>	27	35	

##### **Agua Absorbida**

Peso en Agua Absorbido	% Agua Absorbida
100	1.9
110	2.25
150	3.63

#### 4.1.4 Resultados de la mezcla al 3 % de PVC de reciclaje

**Tabla 4.4.- Resultado Subbase Clase 3+ 3% de PVC**

<b>Fecha:</b>	jul-15
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3

<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

##### **Próctor Modificado**

	<b>Densidad Seca Max</b>	<b>% Humedad</b>
<b>Punto 1</b>	2.140	2.87
<b>Punto 2</b>	2.195	4.2
<b>Punto 3</b>	2.250	6.04
<b>Punto 4</b>	2.260	8.27
<b>Punto 5</b>	2.200	10.09
<b>Óptimo</b>	<b>2.263</b>	<b>7.22</b>

##### **CBR**

<b>Ensayo</b>	<b>Densidad Antes</b>	<b>Densidad Después</b>	<b>Humedad Antes</b>	<b>Humedad Después</b>
<b>56 golpes</b>	2.264	2.269	7.26	7.97
<b>25 golpes</b>	1.961	1.968	7.27	8.35
<b>11 Golpes</b>	1.726	1.737	7.54	8.18

<b>Ensayo</b>	<b>0.1 Pul</b>	<b>0.2 Pul</b>	<b>CBR OBTENIDO</b>
<b>90%</b>	19	28	34.5
<b>95%</b>	24	33	
<b>100%</b>	30	39	

##### **Agua Absorbida**

<b>Peso en Agua Absorbido</b>	<b>% Agua Absorbida</b>
46	0.87
60	1.34
49	1.24

#### 4.1.5 Resultados de la mezcla al 5 % de PVC de reciclaje

**Tabla 4.5.- Resultado Subbase Clase 3+ 5% de PVC**

<b>Fecha:</b>	jul-15
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3

<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

##### **Próctor Modificado**

	<b>Densidad Seca Max</b>	<b>% Humedad</b>
<b>Punto 1</b>	2.074	4.44
<b>Punto 2</b>	2.161	7.36
<b>Punto 3</b>	2.178	9.06
<b>Punto 4</b>	2.142	10.38
<b>Óptimo</b>	<b>2.174</b>	<b>8.36</b>

##### **CBR**

<b>Ensayo</b>	<b>Densidad Antes</b>	<b>Densidad Después</b>	<b>Humedad Antes</b>	<b>Humedad Después</b>
<b>56 golpes</b>	2.176	2.183	8.13	9.48
<b>25 golpes</b>	1.907	1.919	8.21	9.92
<b>11 Golpes</b>	1.674	1.669	8.4	9.96

<b>Ensayo</b>	<b>0.1 Pul</b>	<b>0.2 Pul</b>	<b>CBR OBTENIDO</b>
<b>90%</b>	15	22	27.5
<b>95%</b>	19	27	
<b>100%</b>	23	32	

##### **Agua Absorbida**

<b>Peso en Agua Absorbido</b>	<b>% Agua Absorbida</b>
80	1.6
97	2.21
44	1.14



#### 4.1.6 Resultados de la mezcla al 7 % de PVC de reciclaje

**Tabla 4.6.-Resultado Subbase Clase 3+ 7% de PVC**

<b>Fecha:</b>	jul-15
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3

<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

##### **Próctor Modificado**

	<b>Densidad Seca Max</b>	<b>% Humedad</b>
<b>Punto 1</b>	1.937	4.63
<b>Punto 2</b>	2.070	7.82
<b>Punto 3</b>	2.092	10.21
<b>Punto 4</b>	1.990	12.79
<b>Óptimo</b>	<b>2.096</b>	<b>9.24</b>

##### **CBR**

<b>Ensayo</b>	<b>Densidad Antes</b>	<b>Densidad Después</b>	<b>Humedad Antes</b>	<b>Humedad Después</b>
<b>56 golpes</b>	2.097	2.112	9.24	10.42
<b>25 golpes</b>	1.900	1.900	9.37	10.59
<b>11 Golpes</b>	1.646	1.651	9.48	10.71

<b>Ensayo</b>	<b>0.1 Pul</b>	<b>0.2 Pul</b>	<b>CBR OBTENIDO</b>
<b>90%</b>	15	20	25
<b>95%</b>	18	24	
<b>100%</b>	22	28	

##### **Agua Absorbida**

<b>Peso en Agua Absorbido</b>	<b>% Agua Absorbida</b>
88	1.8
50	1.13
55	1.44

#### 4.1.7 Resultados de la mezcla al 9 % de PVC de reciclaje

**Tabla 4.7.-Resultado Subbase Clase 3+ 9% de PVC**

<b>Fecha:</b>	jul-15
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3

<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

##### **Próctor Modificado**

	<b>Densidad Seca Max</b>	<b>% Humedad</b>
<b>Punto 1</b>	1.866	5.09
<b>Punto 2</b>	1.982	8.49
<b>Punto 3</b>	2.012	11.05
<b>Punto 4</b>	1.932	13.71
<b>Óptimo</b>	<b>2.003</b>	<b>10.09</b>

##### **CBR**

<b>Ensayo</b>	<b>Densidad Antes</b>	<b>Densidad Después</b>	<b>Humedad Antes</b>	<b>Humedad Después</b>
<b>56 golpes</b>	2.008	2.020	10.09	10.8
<b>25 golpes</b>	1.864	1.867	10.21	11.27
<b>11 Golpes</b>	1.658	1.660	10.5	11.52

<b>Ensayo</b>	<b>0.1 Pul</b>	<b>0.2 Pul</b>	<b>CBR OBTENIDO</b>
<b>90%</b>	12	16	22.5
<b>95%</b>	16	21	
<b>100%</b>	20	24	

##### **Agua Absorbida**

<b>Peso en Agua Absorbido</b>	<b>% Agua Absorbida</b>
60	1.27
50	1.14
50	1.29

#### 4.1.8 Resultados de la mezcla al 11 % de PVC de reciclaje

**Tabla 4.8.-Resultado Subbase Clase 3+ 11% de PVC**

<b>Fecha:</b>	jul-15
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3

<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

##### **Próctor Modificado**

	<b>Densidad Seca Max</b>	<b>% Humedad</b>
<b>Punto 1</b>	1.767	5.7
<b>Punto 2</b>	1.888	8.08
<b>Punto 3</b>	1.931	11.34
<b>Punto 4</b>	1.841	14.22
<b>Óptimo</b>	<b>1.933</b>	<b>10.58</b>

##### **CBR**

<b>Ensayo</b>	<b>Densidad Antes</b>	<b>Densidad Después</b>	<b>Humedad Antes</b>	<b>Humedad Después</b>
<b>56 golpes</b>	1.931	1.944	10.61	11.57
<b>25 golpes</b>	1.734	1.742	10.64	11.73
<b>11 Golpes</b>	1.573	1.576	10.76	11.85

<b>Ensayo</b>	<b>0.1 Pul</b>	<b>0.2 Pul</b>	<b>CBR OBTENIDO</b>
<b>90%</b>	11	14	21
<b>95%</b>	14	19	
<b>100%</b>	19	23	

##### **Agua Absorbida**

<b>Peso en Agua Absorbido</b>	<b>% Agua Absorbida</b>
70	1.54
60	1.47
45	1.22

#### 4.1.9 Resultados Generales (Datos Próctor Modificado)

**Tabla 4.9.- Resultados Generales Próctor Modificado**

<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

% PVC	Parámetros	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Óptimos
0%	Densidad	2.272	2.349	2.366	2.290	2.366
	Humedad	1.57	4.13	6.13	7.99	5.05
3%	Densidad	2.140	2.195	2.250	2.260	2.263
	Humedad	2.87	4.2	6.04	8.27	7.22
5%	Densidad	2.074	2.161	2.178	2.142	2.174
	Humedad	4.44	7.36	9.06	10.38	8.36
7%	Densidad	1.937	2.070	2.092	1.990	2.096
	Humedad	4.63	7.82	10.21	12.79	9.24
9%	Densidad	1.866	1.982	2.012	1.932	2.003
	Humedad	5.09	8.49	11.05	13.71	10.09
11%	Densidad	1.767	1.888	1.931	1.841	1.933
	Humedad	5.7	8.08	11.34	14.22	10.58

De acuerdo a la Tabla 4. 9 podemos concluir lo siguiente:

- A medida que aumenta el porcentaje de PVC de reciclaje, la densidad seca máxima disminuye; esto quiere decir que si se aumenta la cantidad de PVC se va a tener un descenso de la energía de compactación y por ende un menor costo.
- Además que a medida que aumenta el PVC de reciclaje, la humedad óptima aumenta; esto quiere decir que si aumentamos el PVC de reciclaje debemos tener más húmedo la subbase lo que elevaría el costo, pero lo haría más trabajable.

#### 4.1.10 Resultados Generales (Densidad Seca Máxima, Humedad y CBR)

**Tabla 4.10.- Resultados Generales**

<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

Resumen de Valores de CBR para sub-base con adición de diferentes porcentajes de PVC de reciclaje

% PVC	N° de Golpes	Densidad Seca Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	(%) Humedad	CBR a 0,1 pul (%)	CBR a 0,2 Pul (%)	CBR Promedio (%)	(%) Mejoramiento
<b>0</b>	56	2.361	5.15	27	35	31	0
	25	2.183	5.38				
	11	1.836	5.61				
<b>3</b>	56	2.264	7.27	<b>30</b>	<b>39</b>	<b>34.5</b>	<b>11</b>
	25	1.961	7.27				
	11	1.726	7.54				
<b>5</b>	56	2.176	8.13	23	32	27.5	-11
	25	1.907	8.21				
	11	1.674	8.4				
<b>7</b>	56	2.097	9.24	22	28	25	-19
	25	1.900	9.37				
	11	1.646	9.48				
<b>9</b>	56	2.008	10.09	20	25	22.5	-27
	25	1.864	10.21				
	11	1.658	10.25				
<b>11</b>	56	1.931	10.61	19	23	21	-32
	25	1.734	10.64				
	11	1.576	10.76				

De acuerdo a la Tabla 4.10 Podemos concluir lo siguiente:

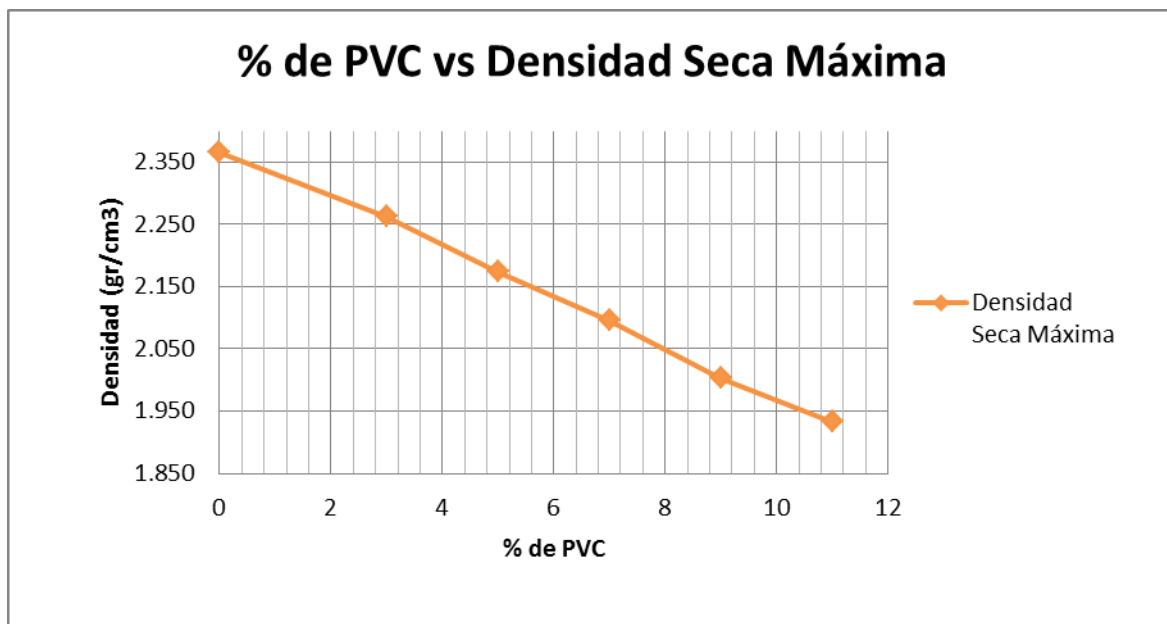
- La subbase en estado natural cumple con el CBR, en este caso se ha decidido que el valor del CBR sea el promedio de los dos resultados tanto al 0,1 Pul de penetración como al 0,2Pul.
- Se observa que el único punto en el cual el CBR aumenta, pero no de una manera considerable es cuando se tiene el 3 % de mezcla de PVC de reciclaje con la subbase; se puede decir que el intervalo en el cual estaría la mezcla adecuada para obtener un

mejoramiento en la subbase estaría entre el 1-3% de PVC ya que se obtiene el 11% de mejoramiento.

- Examinando las siguientes dosificaciones después del 3 % de PVC, resulta que a medida que se aumenta el PVC de reciclaje el CBR disminuye con lo cual se puede argumentar que las dosificaciones al peso que se deben realizar deben ser menor que el 3% para obtener un resultado favorable.

#### **4.1.11 Relación % de PVC –Densidad Seca Máxima**

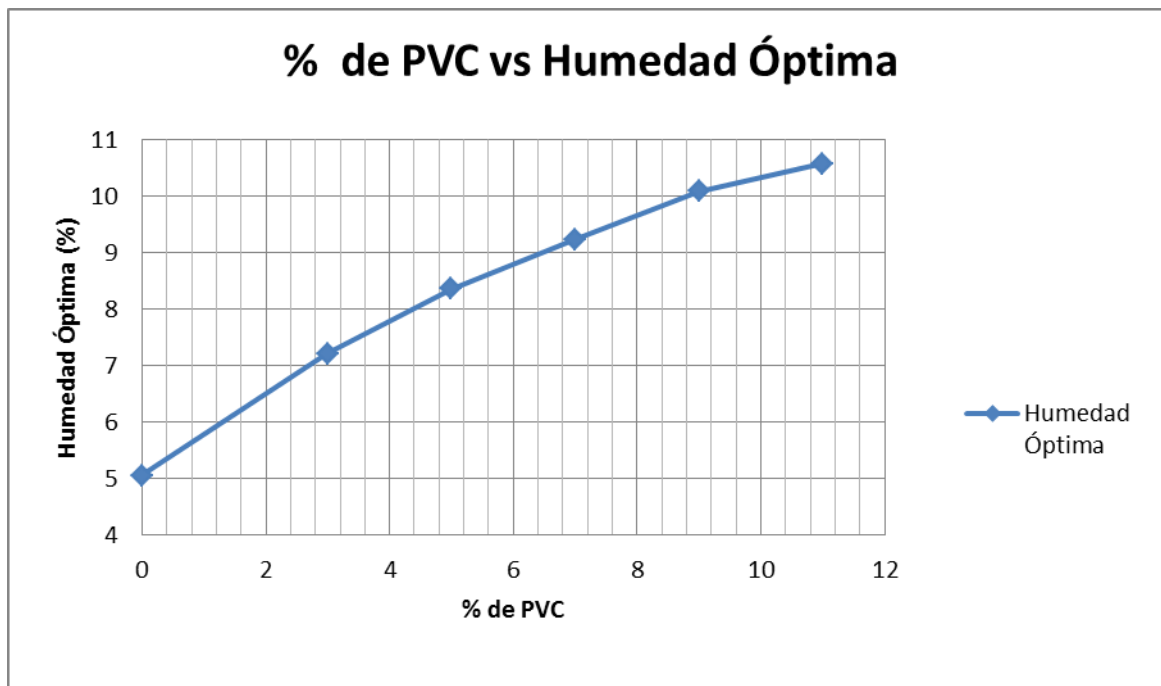
Figura 4.1.- Relación % de PVC Vs Densidad Seca Máxima



En el Gráfico 4.1 se puede analizar que a medida que se aumenta la cantidad de PVC de reciclaje en una mezcla con una subbase clase 3, la densidad seca máxima disminuye, su reducción tiene una tendencia constante.

#### 4.1.12 Relación % de PVC-Humedad Óptima

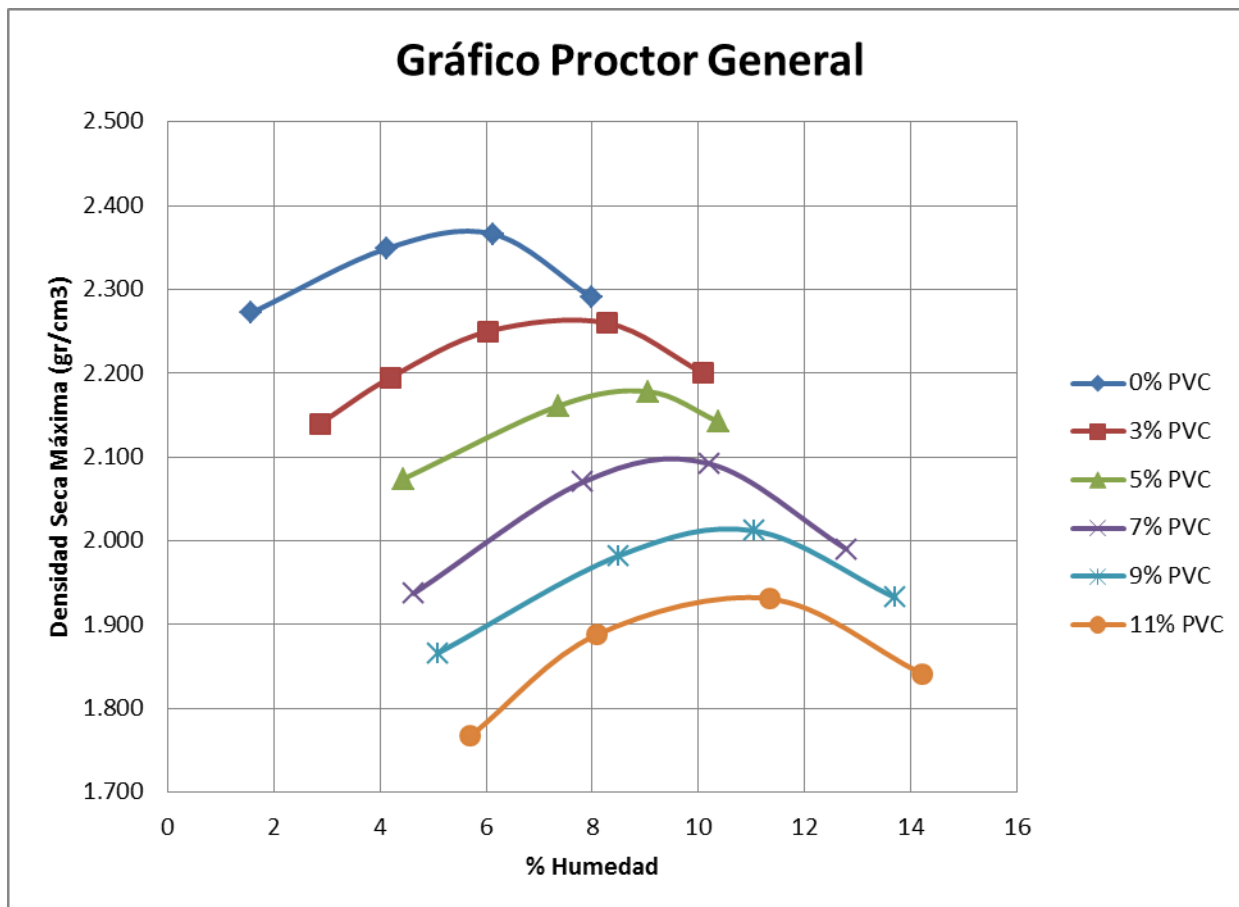
Figura 4.2.- Relación % de PVC Vs Humedad Óptima



De acuerdo a la figura 4.2 se puede observar que a medida que se aumenta la cantidad de PVC de reciclaje en una subbase clase 3 la humedad óptima aumenta, su incremento tiene una tendencia variable.

#### 4.1.13 Gráfico Próctor Modificado General

Figura 4.3 .- Gráfico Próctor General

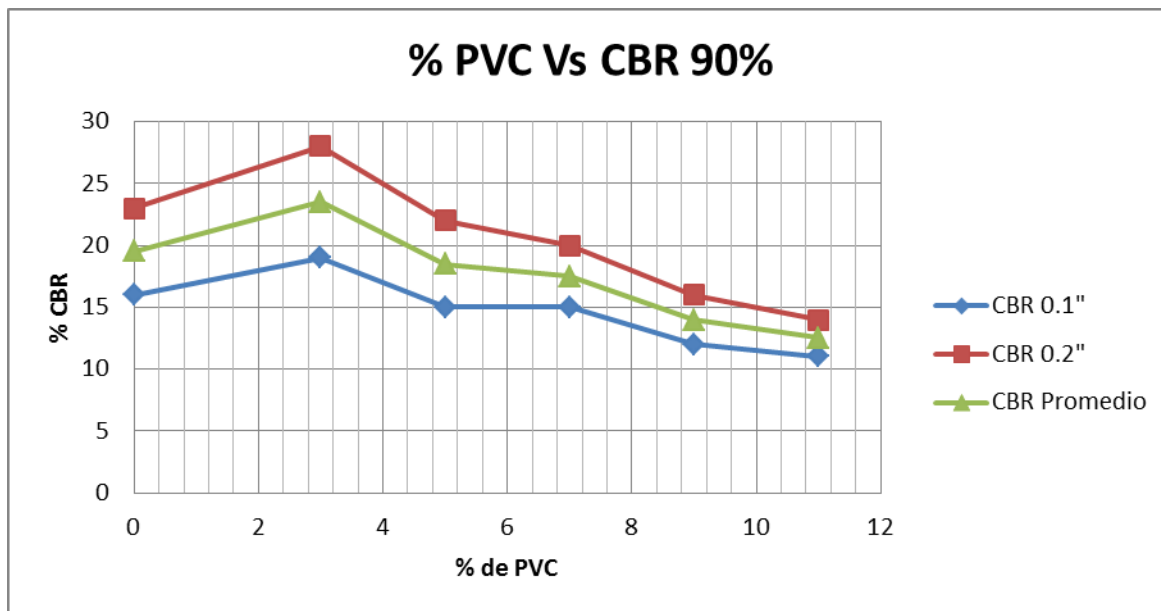


En la figura 4.3 se encuentran todas las curvas de compactación obtenidas en los diferentes ensayos tanto del material natural como el modificado con el PVC de reciclaje, se puede observar que la tendencia de las curvas es similar, solo va cambiando su densidad y su humedad a medida que el PVC va aumentando en su dosificación.



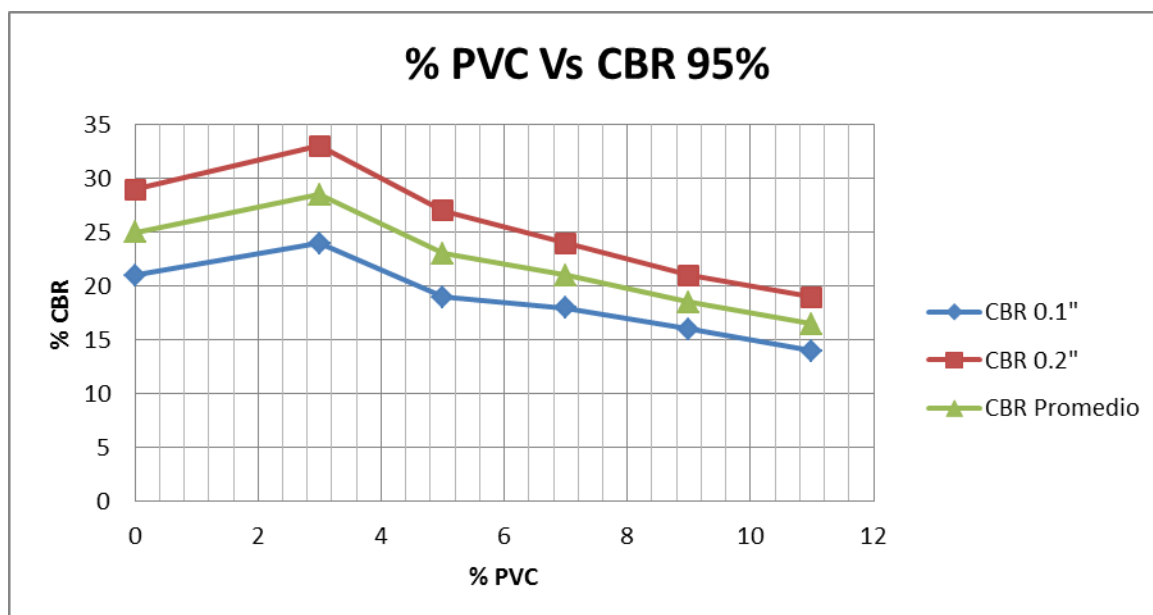
#### 4.1.14 Relación % de PVC – CBR 90% del grado de compactación

Figura 4.4.- Relación % de PVC Vs CBR 90%



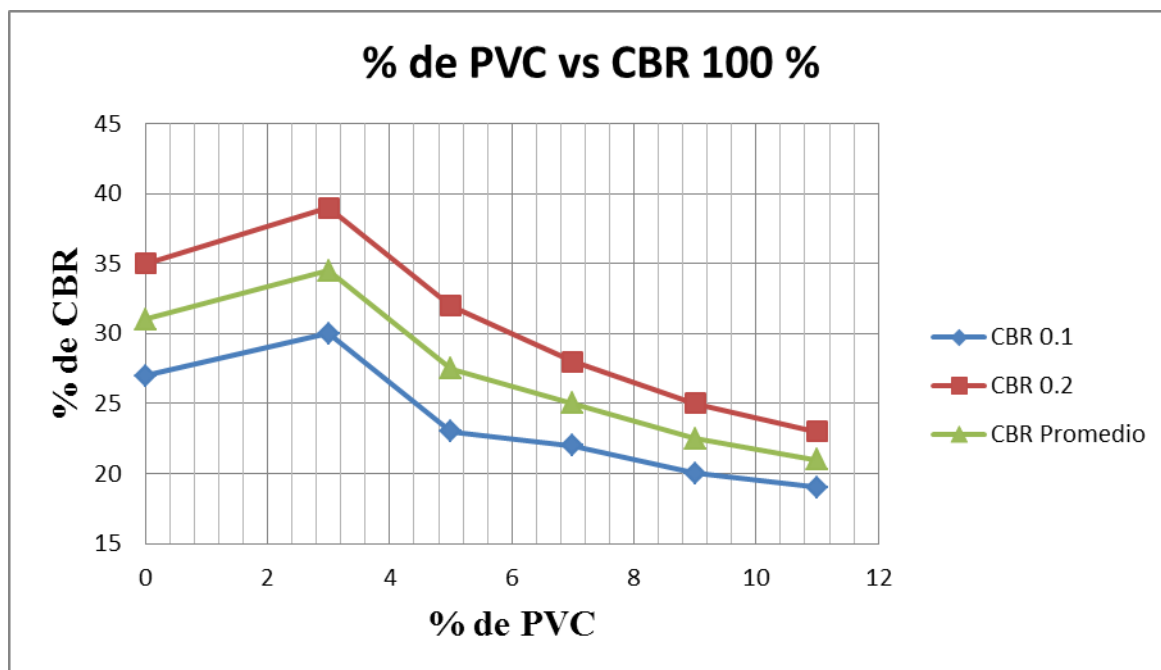
#### 4.1.15 Relación % de PVC-CBR 95% del grado de compactación

Figura 4.5.- Relación % de PVC- CBR al 95%



#### 4.1.16 Relación % de PVC-CBR 100% del grado de compactación.

Figura 4.6.-Relación % de PVC-CBR 100%



De acuerdo a las figura (4.4, 4.5, 4.6) podemos notar lo siguiente:

- El CBR de laboratorio al 0.1, 0.2 pul de penetración y el promedio aumenta en un intervalo de (1-3) por ciento de la dosificación al peso, siendo el máximo valor obtenido el 3% a partir de este valor, en las figuras se observa que tiende a bajar.

## Capítulo V

### 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

De acuerdo a la Tabla 5.1, se observa que el material de la mina “Piedras Verdes” es apto para utilizar como subbase granular para proyectos viales, ya que cumple con los valores establecidos en las Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes de las Normas (NEVI), Volumen 3

**Tabla 5.1.- Resultados Obtenidos del Material**

<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

Ensayo	Norma	Valores Normados		Valores Obtenidos		Observaciones
<b>Granulometría</b>	ASTM C-136	75 mm	100%	75 mm	100%	Cumple
		4.75mm	30-70 %	4.75mm	55 %	
		0.075mm	0-20 %	0.075mm	14 %	
<b>Durabilidad debido a los sulfatos</b>	C-88	< 12 %		11 %		Cumple
<b>Desgaste a la abrasión en la máquina de los ángeles</b>	C-131	< 50%		15 %		Cumple
<b>Límite Líquido</b>	C-4318	< 25		16		Cumple
<b>Índice Plástico</b>	C-4318	<6		0.64		Cumple
<b>CBR</b>	D 1883	>= 30 %		27 (0.1 pul)		No cumple
				35 (0.2 pul)		Cumple

- El porcentaje de Abrasión en la máquina de los ángeles es de 15 % menor al valor máximo 50 % establecido en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes de las normas NEVI Volumen 3 para subbases.
- La granulometría del material cumple con las normas NEVI ya que el porcentaje que pasa el tamiz 3" es del 100%; el porcentaje que pasa el tamiz #4 está dentro del intervalo entre 30%-70% y el porcentaje que pasa el tamiz 200 está entre el intervalo de 0-20%
- El límite Líquido es menor a 25 y el Índice de plasticidad es menor a 6 establecido en las normas NEVI, Volumen 3.
- La Subbase granular tienen un porcentaje del 11 % al desgaste debido a la acción de los sulfatos por lo cual resulta un buen material para la conformación de la estructura del pavimento; además se podría utilizar como material para realizar hormigón ya que en la norma ASTM C-88 menciona que el valor máximo permitido es 12 %.
- La matriz de la subbase clase 3 obtenida de la mina "Piedras Verdes" de acuerdo a la clasificación SUCS, es un **SM** (Arena limosa, mezcla de arena y limo de baja plasticidad.), y de acuerdo a la Clasificación AASHTO es un **A-2-4** (Arena limosa).
- El material granular de la subbase clase 3 de la mina "Piedras Verdes" desde el punto de vista de la geología, es una Roca "Ofita" de origen ígneo subvolcánica; roca intrusiva que no pudo salir a la superficie y se cristalizó internamente, con presencia de carbonatos.
- Cuando se aumenta la cantidad de PVC de reciclaje la densidad seca máxima baja esto resulta bueno ya que se puede tener un material más ligero con una resistencia mayor, y también una menor energía de compactación para alcanzar este valor.
- A medida que el porcentaje de PVC aumenta la humedad óptima aumenta esto resulta bueno ya que se podrá tener una mayor trabajabilidad en la compactación pero resulta también perjudicial por que se tendría que aumentar más agua lo que representa más costo y trabajo.

- El CBR de laboratorio aumenta en los porcentajes de 1, 2 y 3 de la dosificación al peso, siendo el máximo valor obtenido el 3 %, a partir de este valor el CBR de laboratorio tiende a bajar.
- En el trabajo realizado por la Universidad de Medellín en el año 2006 se utilizó el material granular de la mina “Panamá Tesoro” de la ciudad de Bogotá y menciona que las dosificaciones entre subbases y PVC deben estar en un intervalo entre 3 y 5 % para un aumento del CBR de laboratorio; en la presente investigación se empleó el material granular de la mina “Piedras Verdes” de la ciudad de Quito y el intervalo de aumento en las dosificaciones esta entre el 1 y 3 %.
- En el trabajo realizado por la Universidad de Medellín se analiza que a medida que se aumenta el PVC de reciclaje la densidad seca máxima disminuye y la humedad óptima aumenta, en la presente disertación sucede lo mismo.
- El comportamiento del PVC de reciclaje rígido y flexible incorporado en subbases granulares es diferente ya que los porcentajes de mezcla óptimos son diferentes y también la humedad en el PVC flexible aumenta mientras que en el PVC rígido disminuye.

## **5.2 Recomendaciones**

- La densidad seca máxima de la subbase clase 3 en estado natural de la mina “Piedras Verdes” tiene un valor muy elevado con relación a otras subbases ( $2,36 \text{ gr/cm}^3$ ), se recomienda realizar pruebas con este material para utilizar en la elaboración de hormigón, ya que también cumple con el ensayo de desgaste debido a la acción del sulfato de sodio.
- Realizar una investigación en campo, con la visión de implementar esta teoría en el intervalo de mezcla obtenido (1-3%) y evaluar que tan rentable sería ya que el precio del PVC de reciclaje es adecuado para un análisis de costos.

- Estudiar más profundidad el material fino del agregado ya que debido a su composición y diferentes estudios que se han realizado en diferentes partes del mundo, puede servir como material para estabilizar suelos o arcillas expansivas en ciertos casos.
- Realizar una investigación similar en la cual se utilice dosificaciones más cercanas entre el 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% para ver como es el comportamiento del PVC con la subbase ya que la presente disertación tuvo intervalos muy grandes en los cuales no se pudo apreciar bien los porcentajes óptimos de mezcla para optimizar el estudio.
- El PVC de reciclaje se lo puede pulverizar y evaluar el resultado en la unión de juntas de un pavimento rígido ya que hoy en día se utiliza polietileno.
- Realizar una investigación con el PVC de reciclaje en unión con hormigones asfálticos para ver como es el comportamiento ya que entre las resinas y el asfalto existe una afinidad química.
- Recomendar a la empresa JEMEL2L realizar una investigación en la cual se trate de transformar al PVC en una emulsión y ver en qué aplicaciones se puede utilizar.
- Recomendar a la empresa JEMEL 2L usar los datos para realizar una investigación más profunda del tema, ya que el PVC debido a su bajo costo y disponibilidad se puede ofertar a municipios, consejos provinciales, entidades estatales para el uso en mejoramiento de vías.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1: Ensayo de Agregados.**

### 1.1 Contenido de Humedad Natural

<b>Norma:</b>	ASTM C566	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3		

% W=	$(M-A) / A * 100$
------	-------------------

M	Masa Húmeda
A	Masa Seca
W	% de Humedad

M (gr)	A (gr)	%w
28.49	28.05	1.57

### 1.2 Granulometría Agregado Grueso

<b>Norma:</b>	ASTM C136
<b>Fecha:</b>	jul-15
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3

<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

<b>Masa Inicial (gr)</b>	28050
--------------------------	-------

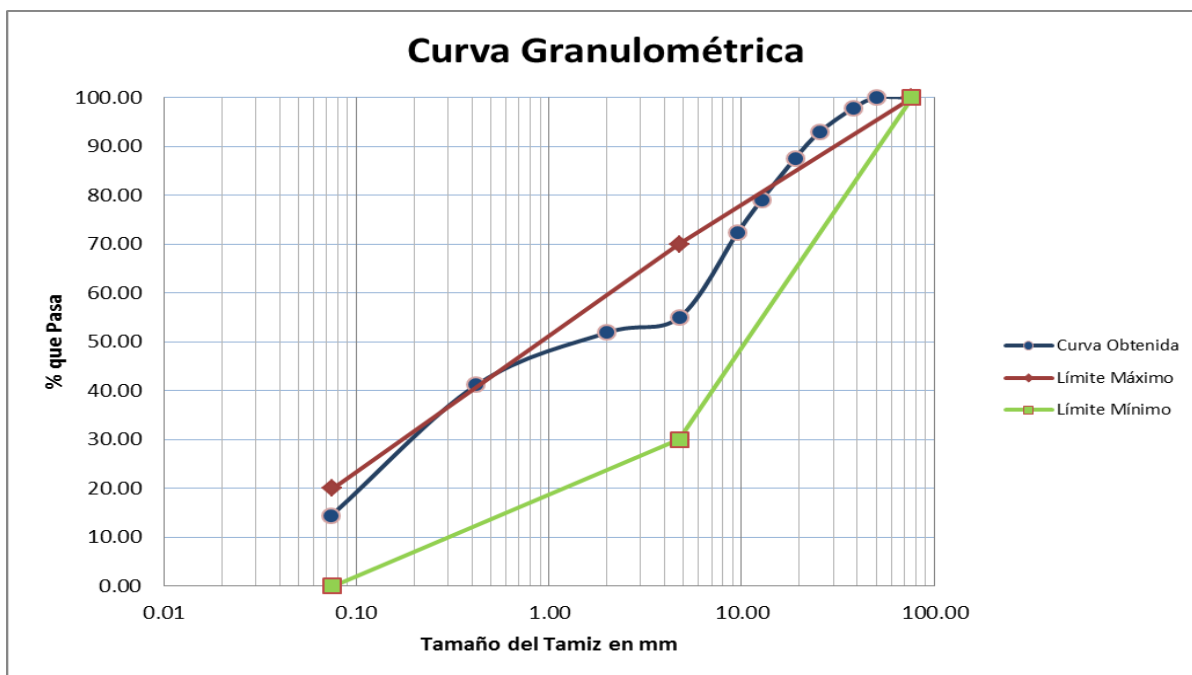
<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura(mm)</b>	<b>Masa retenida parcial (gr)</b>	<b>Masa retenida Acumulada (gr)</b>	<b>(%) Porcentaje Retenido</b>	<b>(%) Porcentaje que Pasa</b>
3"	76.20	0	0	0.00	100.00
2"	50.40	0	0	0.00	100.00
1.5"	38.10	600	600	2.14	97.86
1"	25.40	1390	1990	7.09	92.91
3/4	19.00	1490	3480	12.41	87.59
1/2	12.70	2400	5880	20.96	79.04
3/8	9.51	1890	7770	27.70	72.30
4	4.76	4850	12620	44.99	55.01
pasa el 4		15250	27870		
pasa el 200		180	28050		
<b>TOTAL (gr)</b>		<b>28050</b>			

### 1.3 Granulometría Agregado Fino

<b>Masa Inicial (gr)</b>	935
--------------------------	-----

<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura(mm)</b>	<b>Masa retenida parcial (gr)</b>	<b>Masa retenida Acumulada (gr)</b>	<b>% Porcentaje Retenido</b>	<b>% Porcentaje que Pasa</b>
10	2.000	450.13	450.13	48.14	51.86
40	0.420	100.2	550.33	58.86	41.14
200	0.074	250.14	800.47	85.61	14.39
pasa 200		134.53			
<b>TOTAL</b>		<b>935</b>			





#### 1.4 Abrasión en la Máquina de los Ángeles

##### Desgaste del agregado grueso en la máquina de los ángeles

<b>Norma:</b>	ASTM C535	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3		

C	Material que pasa el tamiz 12
A	Masa inicial de la muestra
B	Masa sostenida en el tamiz 12

<b>C=</b>	A-B
%desgaste	$(C * 100) / A$

A(gr)	B(gr)	C(gr)	%desgaste
5000	4245	755	15.1

### 1.5 Gravedad Especifica del Agregado Grueso

<b>Norma:</b>	ASTM C127	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3		

<b>Ge</b> = $A / (B-C)$
<b>Ges</b> = $B / (B-C)$
<b>Gea</b> = $A / (A-C)$
<b>Ab</b> = $(B-A) * (100/A)$

<b>Ge</b>	Gravedad Específica
<b>A</b>	Masa de la Muestra Seca
<b>B</b>	Masa de la Muestra SSS
<b>C</b>	Masa de la Muestra sumergida en el Agua
<b>Ges</b>	Gravedad Específica SSS
<b>Gea</b>	Gravedad Específica Aparente
<b>Ab</b>	Porcentaje de Absorción

<b>A (gr)</b>	<b>B (gr)</b>	<b>C (gr)</b>
4607	4640	3012

<b>Ge</b>	<b>Ges</b>	<b>Gea</b>	<b>Ab (%)</b>
2.83	2.85	2.9	0.72

### 1.6 Gravedad Específica del Agregado Fino

<b>Norma:</b>	ASTM C128	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3		

$Ma = Mmw - (Mm + B)$
$Ge = A / (500 - Ma)$
$Ges = B / (500 - Ma)$
$Gea = A / [500 + A] - (Mmw - Mm)$
$Ab = (B - A) * 100 / A$

<b>Ma</b>	Masa de Agua añadida al matraz
<b>Mm</b>	Masa del Matraz
<b>Mmw</b>	Masa del conjunto Matraz, Agua y muestra
<b>A</b>	Masa de la Muestra Seca
<b>B</b>	Masa de la Muestra Saturada con Superficie Seca
<b>Ge</b>	Gravedad Específica
<b>Ges</b>	Gravedad Específica del material SSS
<b>Gea</b>	Gravedad Especifica Aparente
<b>Ab</b>	Porcentaje de Absorción

<b>Ma</b>	<b>Mm</b>	<b>Mmw</b>	<b>A</b>
311.6	152.3	967.4	484.9

<b>B</b>	<b>Ge</b>	<b>Ges</b>	<b>Gea</b>	<b>Ab</b>
503.5	2.57	2.7	2.86	3.84

### 1.7 Desgaste Debido a los Sulfatos

<b>Norma:</b>	ASTM C88	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales
<b>Material</b> :	Subbase Clase 3		

<b>TAMIZ</b>		<b>Peso Inicial (gr)</b>	<b>Peso Final (gr)</b>	<b>Gradación Original</b>	<b>Pérdida total (%)</b>	<b>Pérdida corregid a</b>
2	1.5	2316	2242	2.14	3.20	0.07
1.5	1	1007.31	999.21	4.95	0.80	0.04
1	3/4	520.3	488.67	5.32	6.08	0.32
3/4	1/2	679	654.53	8.56	3.60	0.31
1/2	3/8	355.4	333.9	6.74	6.05	0.41
3/8	4	334.9	314.82	17.29	6.00	1.04
<b>Total</b>						<b>2.18</b>

#### Agregado Fino

<b>TAMIZ</b>		<b>Peso Inicial (gr)</b>	<b>Peso Final (gr)</b>	<b>Gradación Original</b>	<b>Pérdida total (%)</b>	<b>Pérdida corregid a</b>
4	8	100	85.2	3.05	14.80	0.45
8	16	100	60.14	5.14	39.86	2.05
16	30	100	43.51	9.75	56.49	5.51
30	50	52	48.36	12.15	7.00	0.85
<b>Total</b>						<b>8.86</b>

<b>Total</b>	<b>11.04</b>
--------------	--------------

### 1.8 Terrones de Arcilla

<b>Norma:</b>	ASTM C-142	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3		

$P = (M - R) / M$
$P_p = (\text{Gradación} * P) / 100$
$P_a = \sum P_p$

<b>P</b>	Porcentaje de Arcilla en terrones por fracción
<b>M</b>	Masa Inicial de la Muestra
<b>R</b>	Masa Final de la Muestra
<b>Pp</b>	Porcentaje parcial de Arcilla en Terrones
<b>Gradación</b>	% Retenido Parcial (Granulometría)
<b>Pa</b>	Porcentaje de Terrones del Agregado

Tamiz	M (gr)	R (gr)	P	Gradación	Pp (%)
3/4	3081	2944.16	4.44	5.31	0.24
3/8	2041	1976.22	3.17	6.74	0.21
4	1084.7	1042.71	3.87	17.29	0.67
16	130.7	114.22	12.61	5.14	0.65
				<b>Pa</b>	<b>1.77</b>

### 1.9 Límites de Atterberg

<b>Norma:</b>	ASTM C-142	<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Fecha:</b>	jul-15	<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales
<b>Material:</b>	Subbase Clase 3		

#### LÍMITE PLÁSTICO

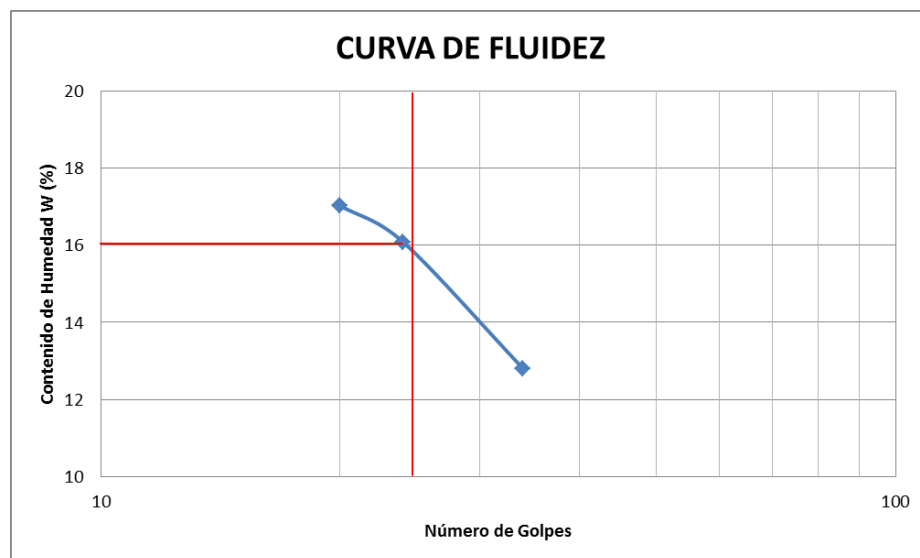
N. Cápsula	Peso cápsula	Peso cap+SH	Peso cap+SS	% Humedad
D6	7.45	14.9	13.92	15.15
708	6.3	11.72	10.99	15.57

LP=	15.36
-----	-------

#### LÍMITE LÍQUIDO

N GOLPES	N. Cápsula	Peso cápsula	Peso cap+SH	Peso cap+SS	% Humedad
34	713	6.27	17.64	16.35	12.80
24	617	8.27	21.83	19.95	16.10
20	704	9.73	33.98	30.45	17.04

LL=	16
IP =	0.64



## ANEXO2: Próctor Modificado y CBR

### PROCTOR MODIFICADO SUBBASE CLASE 3 EN ESTADO NATURAL

<b>Norma:</b>	ASTM D1557
<b>Fecha:</b>	jul-15

<b>Mina:</b>	Piedras Verdes
<b>Realizado por:</b>	Rubén Morales

#### Norma y ensayo:

Golpe/capa:	56
No. De capas:	5
Material pasa el tamiz:	TAMIZ 4
Peso del martillo: (kg)	4.5
Altura de caída: (cm)	45.7

#### Datos del molde:

Diámetro:	15.24	cm
Volumen:	2 124	cm <sup>3</sup>
Peso:	6 434	gr

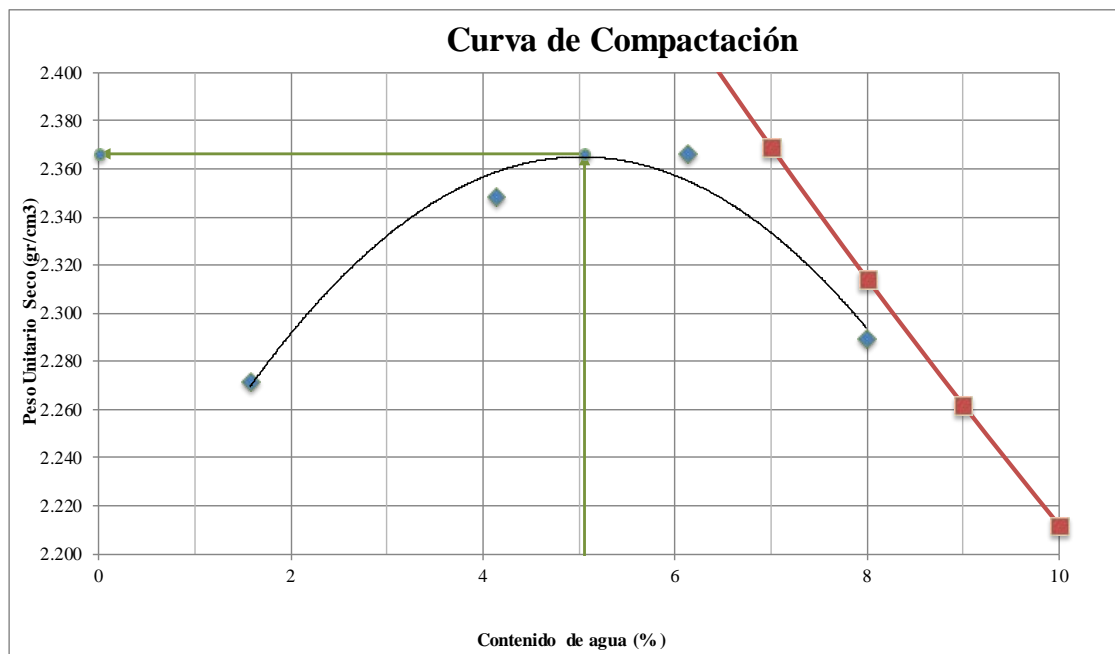
#### Datos

Punto No.	1	2	3	4
Peso suelo+molde (gr)	11335	11629	11768	11686
Peso molde (gr)	6434	6434	6434	6434
Peso suelo(gr)	4901	5195	5334	5252
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.31	2.45	2.51	2.47
Densidad Seca (gr/cm3)	2.272	2.349	2.366	2.290

#### CONTENIDO DE AGUA

Recipiente N°								
P. Suelo hum+cap (gr)	271.15	315.82	227.39	231.01	232.81	253.18	249.40	257.30
P. Suelo seco+cap (gr)	266.62	313.08	219.14	222.83	220.68	240.43	235.25	241.22
w (%)	2.10	1.04	4.18	4.08	6.12	6.13	7.63	8.35
promedio	1.57	4.13	6.13	7.99				

<b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>	2.366	gr/cm <sup>3</sup>
<b>W% OPTIMO</b>	5.05	%



**RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR ) SUBBASE EN ESTADO NATURAL**

Norma:	ASTM D-1883
Fecha:	jul-15

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

No. DE CAPAS	5		5		5	
No. DE GOPES POR CAPA	56		25		11	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE gr	13350	13450	11200	11310	10400	10550
PESO MOLDE gr	8079	8079	6310	6310	6271	6271
PESO MUESTRA HUMEDA gr	5271	5371	4890	5000	4129	4279
VOLUMEN DE LA MUESTRA cm <sup>3</sup>	2123	2123	2126	2126	2130	2130
PESO UNITARIO HUMEDO g/cm <sup>3</sup>	2.483	2.530	2.300	2.352	1.938	2.009
PESO UNITARIO SECO g/cm <sup>3</sup>	2.361	2.375	2.183	2.192	1.836	1.868
CONTENIDO DE AGUA	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
PESO MUESTRA HUME + CAP g	221.50	192.68	262.12	273.41	210.65	149.57
PESO MUESTRA SECA + CAP g	213.28	185.60	248.21	259.11	200.95	143.09
PESO CAP. g	50.68	50.41	22.54	50.72	22.33	21.67
CONTENIDO DE HUMEDAD %	5.06	5.24	6.16	6.86	5.43	5.34
PROMEDIO (W%) %	5.15	6.51	5.38	7.31	5.61	7.57

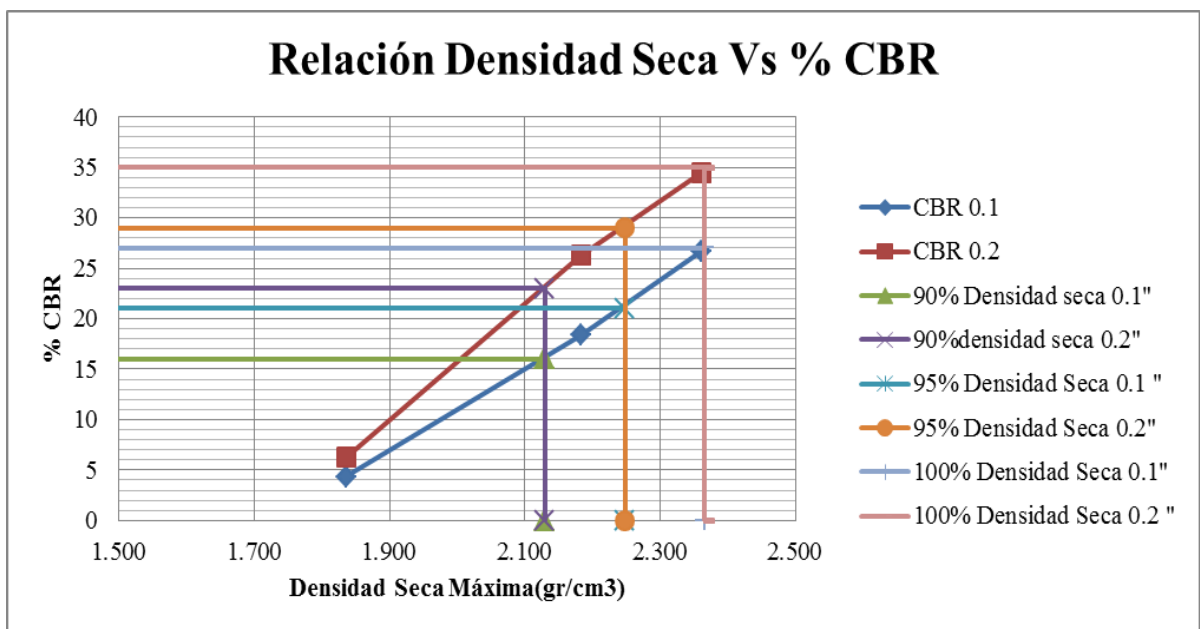
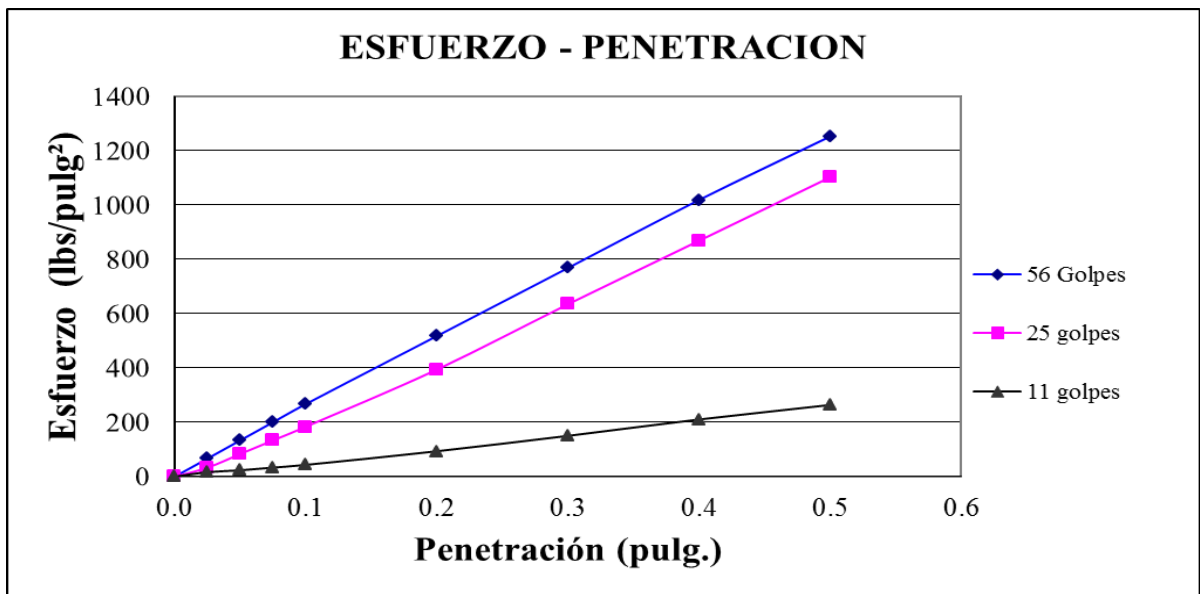
**PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA**

MOLDEN°	4	17	6
PESO MUESTRA HUME + MOLDE DESPUES SATURACION (gr)	13450	11310	10550
PESO MUESTRA HUME + MOLDE ANTES SATURACION (gr)	13350	11200	10400
PESO AGUA ABSORBIDA (gr)	100	110	150
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	1.90	2.25	3.63

**DATOS DE PENETRACION**

PENETRACION	CARGA TIPO	MOLDE N° 4		MOLDE N° 17		MOLDE N° 6	
		CARGA DE ENSAYO	CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO	CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO	CBR CORREGIDO
pulg	lbs/pulg <sup>2</sup>	DIAL	lbs/pulg <sup>2</sup>	DIAL	lbs/pulg <sup>2</sup>	DIAL	lbs/pulg <sup>2</sup>
0		0	0.0	0	0	0	0
0.025		20	66.8	10	33.4	5	16.7
0.050		40	133.6	25	83.5	7	23.4
0.075		60	200.4	40	133.6	10	33.4
0.100	1000	80	267.2	55	183.7	13	43.4
0.200	1500	155	517.7	118	394.1	28	93.5
0.300		230	768.2	190	634.6	45	150.3
0.400		305	1018.7	260	868.4	63	210.4
0.500		375	1252.5	330	1102.2	79	263.9





Densidad Seca Máxima	CBR 0.1
%	%
90	16
95	21
100	27
Densidad Seca Máxima	CBR 0.2
90	23
95	29
100	35
<b>CBR PROMEDIO</b>	<b>31</b>

**PROCTOR MODIFICADO SUBBASE CLASE 3 + 3 % PVC**

Norma:	ASTM D-1557
Fecha:	jul-15

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

**Norma y ensayo:**

Golpe/capa:	56
No. De capas:	5
Material pasa el tamiz:	TAMIZ 4
Peso del martillo:(kg)	4.5
Altura de caída:(cm)	45.7

**Datos del molde:**

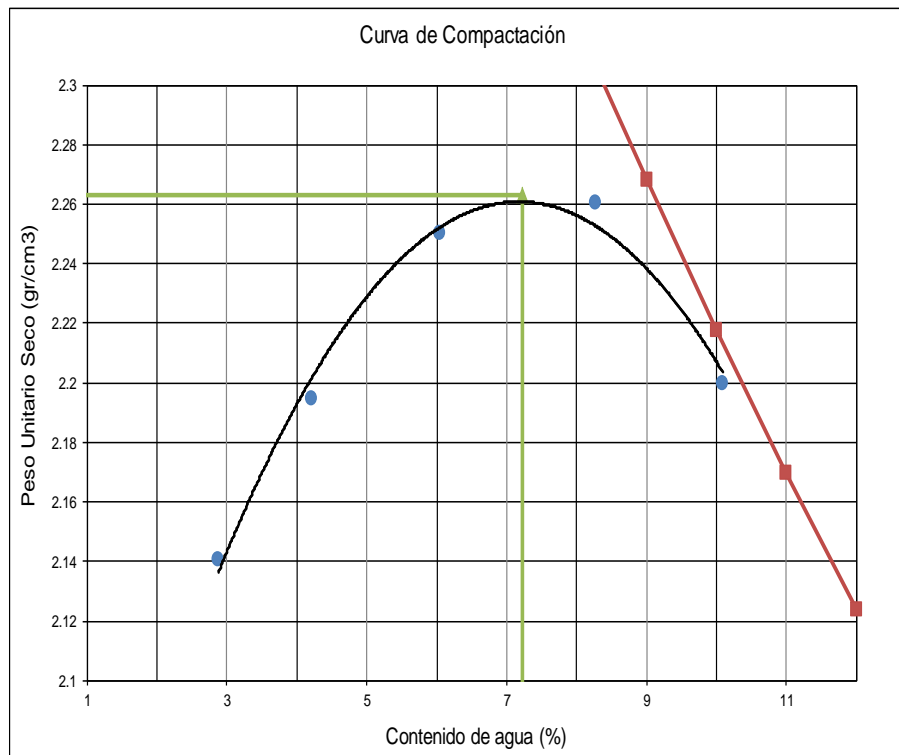
Diámetro:	15.24	cm.
Volumen:	2 124	cm³
Peso:	6 434	gr

Punto No.	1	2	3	4.00	5.00
Peso suelo+molde (gr)	11111	11292	11502	11632	11578
Peso molde (gr)	6434	6434	6434	6434	6434
Peso suelo (gr)	4677	4858	5068	5198	5144
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.202	2.287	2.386	2.447	2.422
Densidad Seca (gr/cm3)	<b>2.140</b>	<b>2.195</b>	<b>2.250</b>	<b>2.260</b>	<b>2.200</b>

**CONTENIDO DE AGUA**

P. Suelo hum+cap (gr)	182.44	202.00	174.56	204.36	200.90	200.97	223.15	239.80	220.71	219.04
P. Suelo seco+cap (gr)	177.53	197.46	169.53	198.03	190.49	191.06	207.40	223.67	204.63	202.39
P. Cápsula (gr)	22.37	21.76	48.81	48.72	22.41	22.60	22.60	22.52	49.74	32.42
w (%)	3.16	2.58	4.17	4.24	6.19	5.88	8.52	8.02	10.38	9.80
promedio	<b>2.87</b>	<b>4.20</b>	<b>6.04</b>	<b>8.27</b>	<b>10.09</b>					

<b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>	<b>2.263</b>	<b>gr/cm³</b>
<b>W% OPTIMO</b>	<b>7.22</b>	<b>%</b>



**RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR ) SUBBASE CLASE 3 + 3 % PVC**

Norma:	ASTM D-1883
Fecha:	jul-15

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

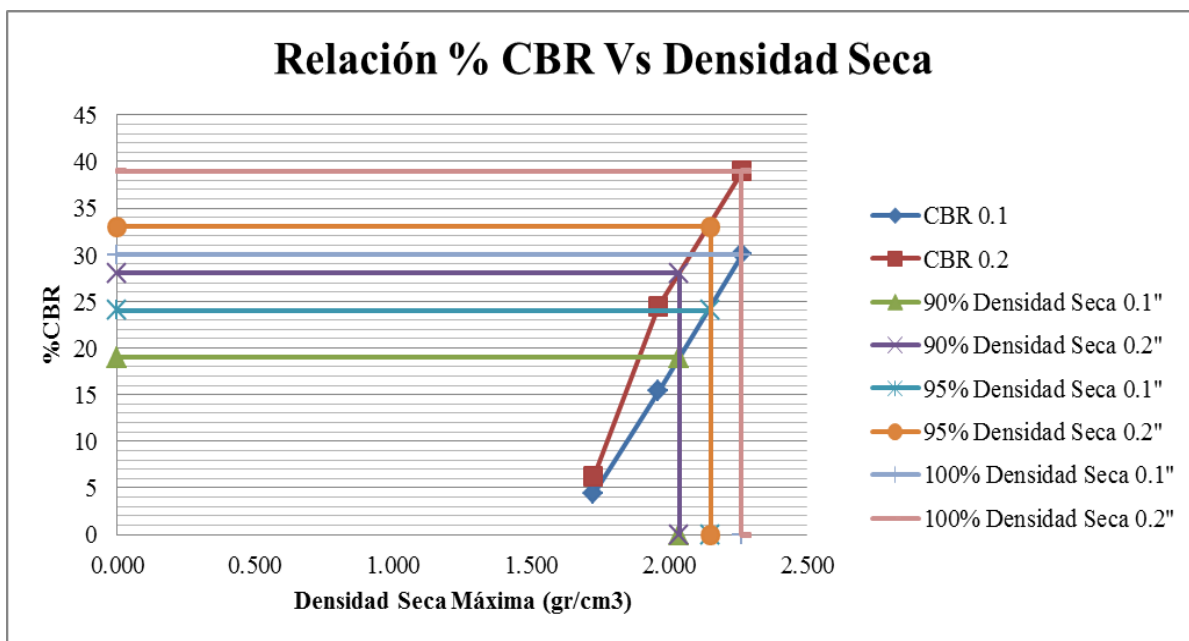
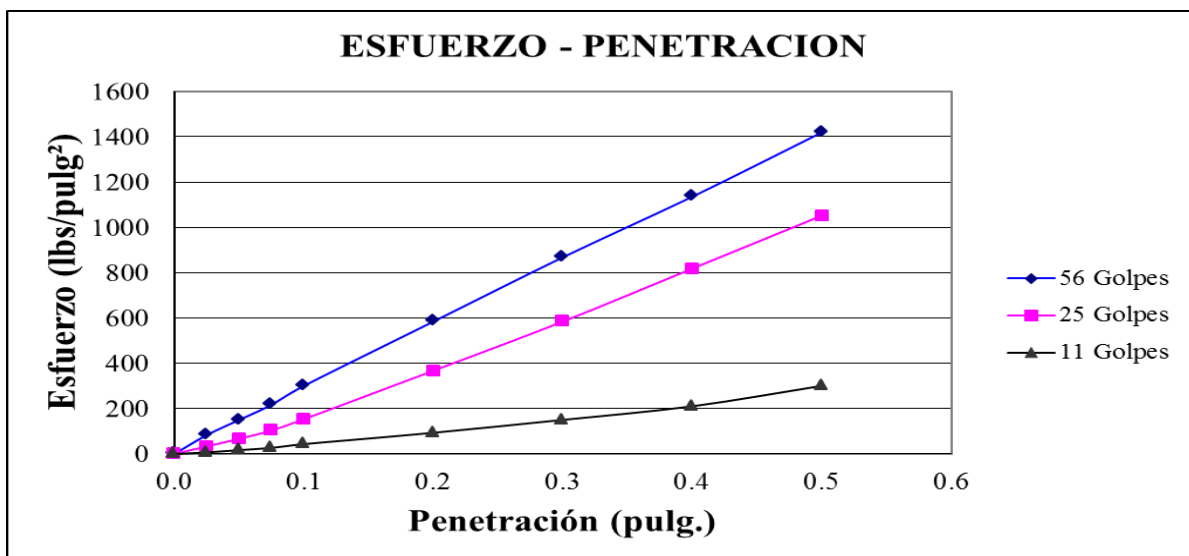
No. DE CAPAS	5		5		5	
No. DE GOPES POR CAPA	56		25		11	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE gr	11130	11175	10660	10720	9983	10032
PESO MOLDE gr	5975	5975	6179	6179	6038	6038
PESO MUESTRA HUMEDA gr	5155	5200	4481	4541	3945	3994
VOLUMEN DE LA MUESTRA cm <sup>3</sup>	2123	2123.0	2130	2130.0	2125	2125
PESO UNITARIO HUMEDO g/cm <sup>3</sup>	2.428	2.449	2.104	2.132	1.856	1.880
PESO UNITARIO SECO g/cm <sup>3</sup>	2.264	2.269	1.961	1.968	1.726	1.737
CONTENIDO DE AGUA	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
PESO MUESTRA HUME. + CAP gr	138.90	183.12	184.62	185.61	161.89	135.23
PESO MUESTRA SECA + CAP gr	132.83	174.03	174.96	175.33	152.54	127.52
PESO CAP. gr	48.98	49.11	50.47	49.72	23.06	22.06
CONTENIDO DE HUMEDAD %	7.24	7.28	7.76	8.18	7.22	7.31
PROMEDIO (W %) %	7.26	7.97	7.27	8.35	7.54	8.18

**PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA**

MOLDEN°	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>18</b>
PESO MUESTRA HUME. + MOLDE DESPUES SATURACION (gr)	11175	10720	10032
PESO MUESTRA HUME. + MOLDE ANTES SATURACION (gr)	11130	10660	9983
PESO AGUA ABSORBIDA (gr)	45	60	49
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	0.87	1.34	1.24

**DATOS DE PENETRACION**

PENETRACIÓN	CARGAS TIPO	MOLDE N° 4		MOLDE N° 6		MOLDE N° 18	
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO		CARGA DE ENSAYO	
pulg	lbs/pulg <sup>2</sup>	DIAL	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	DIAL	lbs/pulg <sup>2</sup>	%
0		0	0.0		0	0	
0.025		25	83.5		10	33.4	
0.050		45	150.3		20	66.8	
0.075		65	217.1		31	103.5	
0.100	1000	90	300.6	30.1	46	153.6	15.4
0.200	1500	175	584.5	38.97	110	367.4	24.5
0.300		260	868.4		175	584.5	
0.400		340	1135.6		245	818.3	
0.500		425	1419.5		315	1052.1	



Densidad Seca Máxima	CBR 0.1
%	%
90	19
95	24
100	30
Densidad Seca Máxima	CBR 0.2
90	28
95	33
100	39
<b>CBR PROMEDIO</b>	<b>34.5</b>

**PRÓCTOR MODIFICADO SUBBASE CLASE 3 + 5% PVC**

Norma:	ASTM D-1557
Fecha:	jul-15

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

**Norma y ensayo:**

Golpe/capa:	56
No. De capas:	5
Material pasa el tamiz:	TAMIZ 4
Peso del martillo:	4.5
Altura de caída:	45.7

**Datos del molde:**

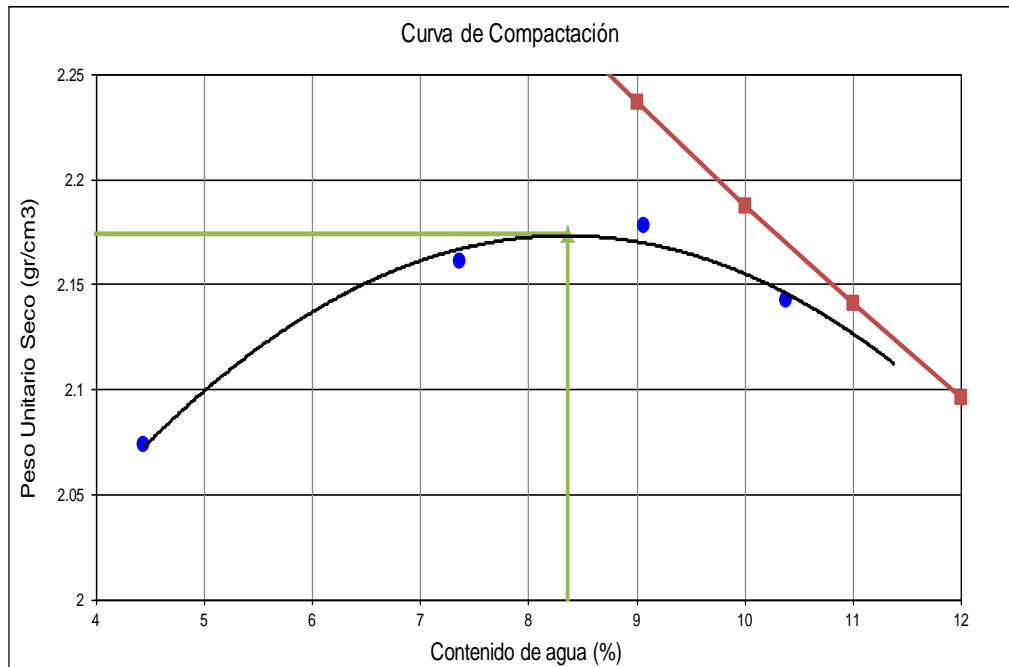
Diámetro:	15.24	cm.
Volumen:	2 124	cm <sup>3</sup>
Peso:	6 434	gr

Punto No.	1	2	3	4.00
Peso suelo+molde (gr)	11034	11362	11480	11456
Peso molde(gr)	6434	6434	6434	6434
Peso suelo(gr)	4600	4928	5046	5022
Densidad húmeda(gr/cm3)	2.166	2.320	2.376	2.364
Densidad Seca(gr/cm3)	<b>2.074</b>	<b>2.161</b>	<b>2.178</b>	<b>2.142</b>

**CONTENIDO DE AGUA**

P. Suelo hum+cap(gr)	209.42	178.55	226.08	191.72	213.32	215.53	189.46	227.63
P. Suelo seco+cap(gr)	202.56	173.12	212.12	180.15	199.18	200.16	173.14	209.15
P. Cápsula(gr)	49.94	49.37	23.07	22.58	49.73	22.60	22.61	22.68
w (%)	4.49	4.39	7.38	7.34	9.46	8.66	10.84	9.91
promedio	<b>4.44</b>	<b>7.36</b>	<b>9.06</b>	<b>10.38</b>				

<b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>	<b>2.174</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>W% OPTIMO</b>	<b>8.36</b>	<b>%</b>



**RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR ) SUBBASE CLASE 3 + 5% PVC**

Norma:	ASTM D-1883
Fecha:	jul-15

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

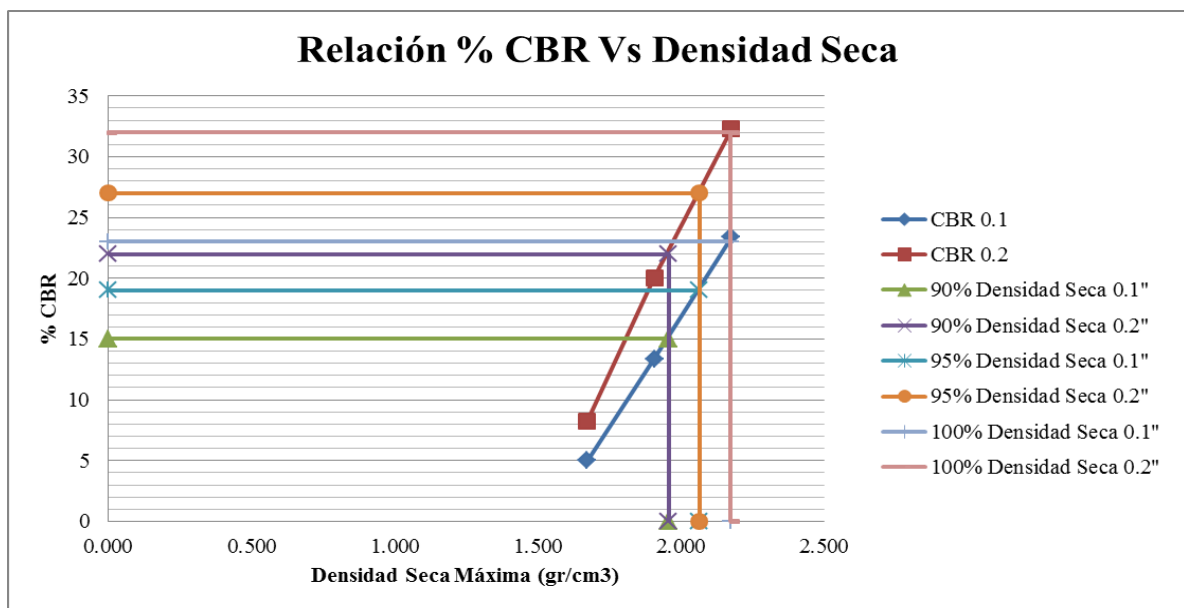
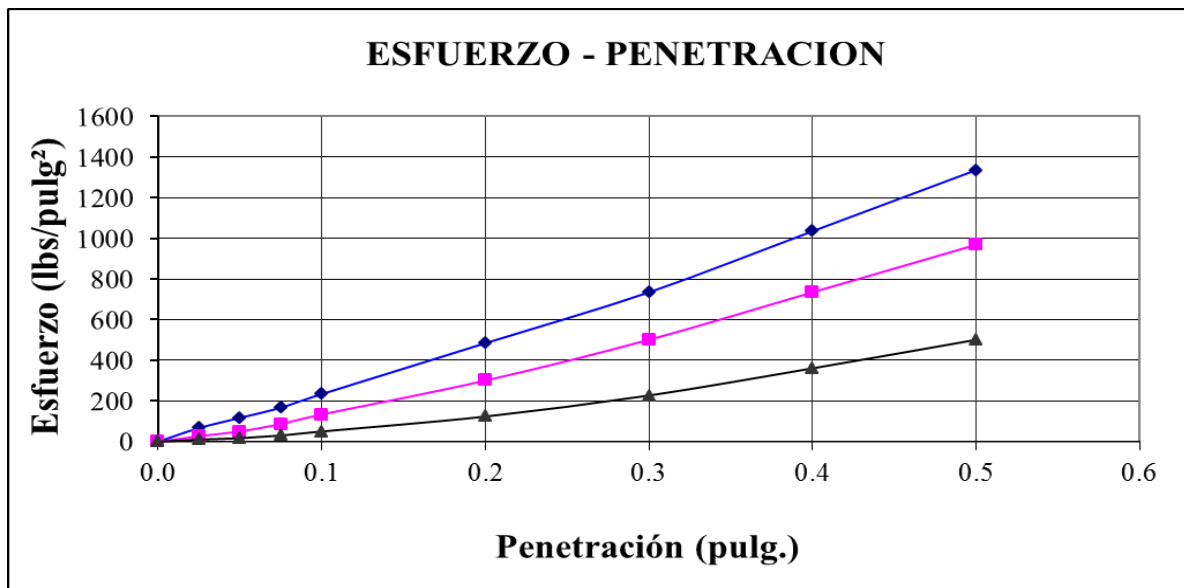
No. DE CAPAS	5		5		5	
No. DE GOPES POR CAPA	56		25		11	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.	ANTES DE SAT.	DESPUES DE SAT.
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE gr	11280	11360	10698	10795	9993	10037
PESO MOLDE gr	6269	6269	6310	6310	6127	6127
PESO MUESTRA HUMEDA gr	5011	5091	4388	4485	3866	3910
VOLUMEN DE LA MUESTRA cm <sup>3</sup>	2130	2130.0	2126	2126.0	2131	2131
PESO UNITARIO HUMEDO g/cm <sup>3</sup>	2.353	2.390	2.064	2.110	1.814	1.835
PESO UNITARIO SECO g/cm <sup>3</sup>	2.176	2.183	1.907	1.919	1.674	1.669
CONTENIDO DE AGUA	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
PESO MUESTRA HUME + CAP gr	179.90	181.90	155.15	186.25	181.97	166.04
PESO MUESTRA SECA + CAP gr	170.11	171.98	143.80	172.01	169.98	155.09
PESO CAP. gr	49.93	49.67	22.76	23.32	23.07	22.59
CONTENIDO DE HUMEDAD %	8.15	8.11	9.38	9.58	8.16	8.26
PROMEDIO (W%) %	8.13	9.48	8.21	9.92	8.40	9.96

**PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA**

MOLDEN°	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>1</b>
PESO MUESTRA HUME + MOLDE DESPUES SATURACION (gr)	11360	10795	10037
PESO MUESTRA HUME + MOLDE ANTES SATURACION (gr)	11280	10698	9993
PESO AGUA ABSORBIDA (gr)	80	97	44
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	1.60	2.21	1.14

**DATOS DE PENETRACION**

PENETRACIÓN	CARGA TIPO	MOLDE N° 6			MOLDE N° 17			MOLDE N° 1		
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO
pulg	lbs/pulg <sup>2</sup>	DIAL	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	DIAL	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	DIAL	lbs/pulg <sup>2</sup>	%
0		0	0.0		0	0		0	0	
0.025		20	66.8		8	26.7		3	10.0	
0.050		35	116.9		15	50.1		5	16.7	
0.075		50	167.0		26	86.8		9	30.1	
0.100	1000	70	233.8	23.4	40	133.6	13.4	15	50.1	5.0
0.200	1500	145	484.3	32.29	90	300.6	20.0	37	123.6	8.2
0.300		220	734.8		150	501.0		68	227.1	
0.400		310	1035.4		220	734.8		108	360.7	
0.500		400	1336.0		290	968.6		150	501.0	



Densidad Seca Máxima	CBR 0.1
%	%
90	15
95	19
100	23
Densidad Seca Máxima	CBR 0.2
90	22
95	27
100	32
<b>CBR PROMEDIO</b>	<b>27.5</b>

**PROCTOR MODIFICADO SUBBASE CLASE 3 + 7 % PVC**

Norma:	ASTM D-1557
Fecha:	jul-15

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

**Norma y ensayo:**

Golpe/capa:	56
No. De capas:	5
Material pasa el tamiz:	TAMIZ 4
Peso del martillo: (kg)	4.5
Altura de caída: (cm)	45.7

**Datos del molde:**

Diámetro:	15.24	cm.
Volumen:	2 180	cm³
Peso:	6 434	gr

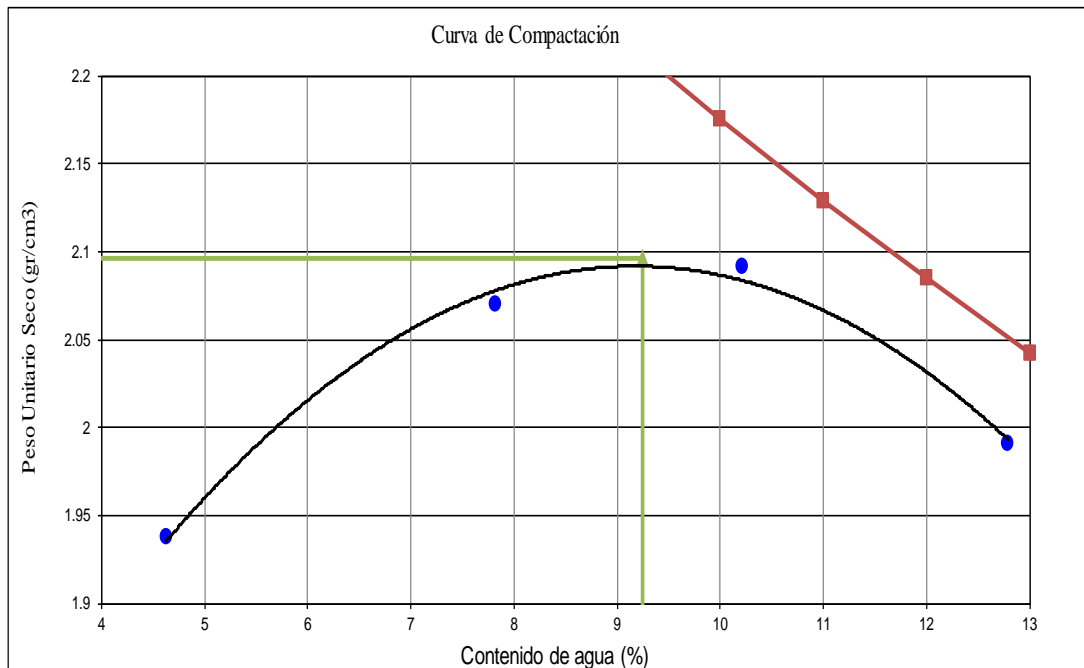
**4. Datos para la curva:**

Punto No.	1	2	3	4.00
Peso suelo+molde (gr)	10853	11300	11460	11328
Peso molde (gr)	6434	6434	6434	6434
Peso suelo (gr)	4419.000	4866.000	5026.000	4894.000
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.027	2.232	2.306	2.245
Densidad Seca (gr/cm³)	<b>1.937</b>	<b>2.070</b>	<b>2.092</b>	<b>1.990</b>

**CONTENIDO DE AGUA**

P. Suelo hum+cap (gr)	169.32	182.94	191.01	218.10	166.74	176.43	234.91	194.55
P. Suelo seco+cap (gr)	164.15	176.90	180.92	205.78	153.45	162.15	212.30	177.89
P. Cápsula (gr)	49.71	49.40	50.48	49.91	23.10	22.60	32.46	49.78
w (%)	4.52	4.74	7.74	7.90	10.20	10.23	12.57	13.00
promedio	<b>4.63</b>	<b>7.82</b>	<b>10.21</b>	<b>12.79</b>				

<b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>	<b>2.096</b>	<b>gr/cm³</b>
<b>W% OPTIMO</b>	<b>9.24</b>	<b>%</b>



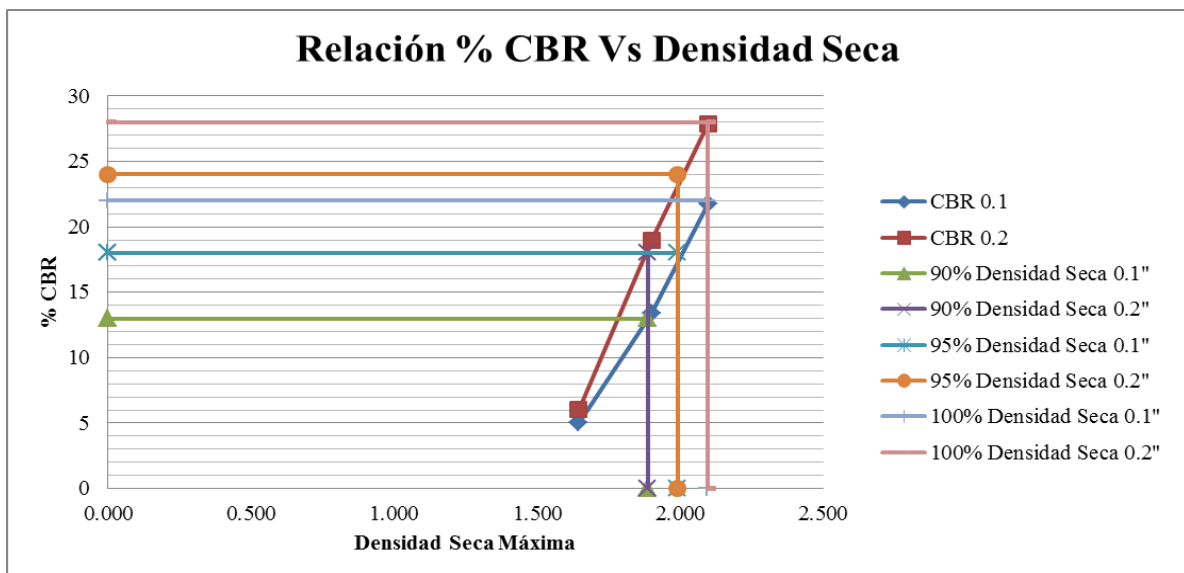
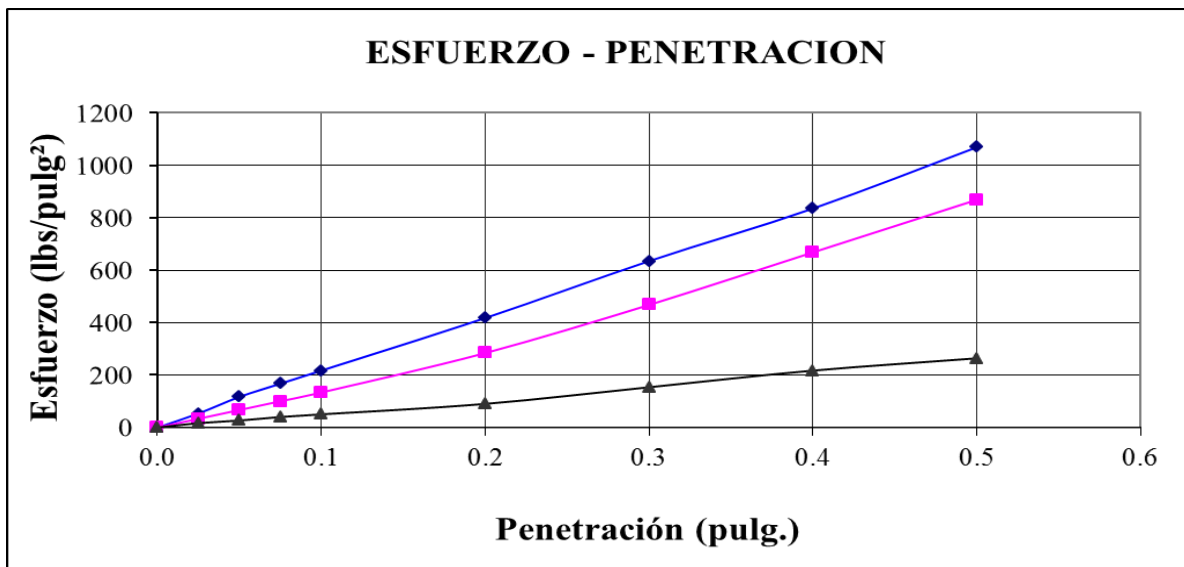


**RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR ) SUBBASE CLASE 3 + 7 %PVC**

Norma:	ASTM D-1883
Fecha:	jul-15

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

No. DE CAPAS		5				5				5			
No. DE GOPES POR CAPA		56				25				11			
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	gr	11012		11100		10700		10750		10145		10200	
PESO MOLDE	gr	6130		6130		6275		6275		6315		6315	
PESO MUESTRA HUMEDA	gr	4882		4970		4425		4475		3830		3885	
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm³	2131		2131.0		2130		2130.0		2126		2126	
PESO UNITARIO HUMEDO	g/cm³	2.291		2.332		2.077		2.101		1.802		1.827	
PESO UNITARIO SECO	g/cm³	2.097		2.112		1.900		1.900		1.646		1.651	
CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
PESO MUESTRA HUME + CAP	gr	147.35	174.13	174.15	163.25	149.14	148.22	167.09	204.34	150.14	168.12	151.15	153.12
PESO MUESTRA SECA + CAP	gr	139.20	163.59	162.50	152.56	138.35	137.45	155.90	189.43	140.12	155.32	141.50	142.98
PESO CAP.	gr	50.69	50.01	50.69	49.94	22.62	22.98	49.73	49.37	32.62	22.40	49.36	50.43
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.21	9.28	10.42	10.42	9.32	9.41	10.54	10.65	9.32	9.63	10.47	10.96
PROMEDIO (W %)	%	9.24		10.42		9.37		10.59		9.48		10.71	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA													
MOLDE N°							1		6		17		
PESO MUESTRA HUME + MOLDE DESPUES SATURACION (gr)							11100		10750		10200		
PESO MUESTRA HUME + MOLDE ANTES SATURACION (gr)							11012		10700		10145		
PESO AGUA ABSORBIDA (gr)							88		50		55		
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA							1.80		1.13		1.44		
DATOS DE PENETRACION													
PENETRACIÓN	CARGA TIPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 6			MOLDE N° 17					
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO			
pulg	lbs/pulg²	DIAL	lbs/pulg²	%	DIAL	lbs/pulg²	%	DIAL	lbs/pulg²	%			
0		0	0.0		0	0		0	0				
0.025		16	53.4		10	33.4		5	16.7				
0.050		35	116.9		20	66.8		8	26.7				
0.075		50	167.0		30	100.2		12	40.1				
0.100	1000	65	217.1	21.7	40	133.6	13.4	15	50.1	5.0			
0.200	1500	125	417.5	27.83	85	283.9	18.9	27	90.2	6.0			
0.300		190	634.6		140	467.6		46	153.6				
0.400		250	835.0		200	668.0		65	217.1				
0.500		320	1068.8		260	868.4		79	263.9				



Densidad Seca Máxima	CBR 0.1
%	%
90	13
95	18
100	22
Densidad Seca Máxima	CBR 0.1
90	18
95	24
100	28
<b>CBR PROMEDIO</b>	<b>25</b>

### PRÓCTOR MODIFICADO SUBBASE CLASE 3 + 9% PVC

Norma:	ASTM D-1557
Fecha:	jul-15

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

#### Norma y ensayo:

Golpe/capa:	56
No. De capas:	5
Material pasa el tamiz:	TAMIZ 4
Peso del martillo: (kg)	4.5
Altura de caída: (cm)	45.7

#### Datos del molde:

Diámetro:	15.24	cm.
Volumen:	2 124	cm³
Peso:	6 434	gr

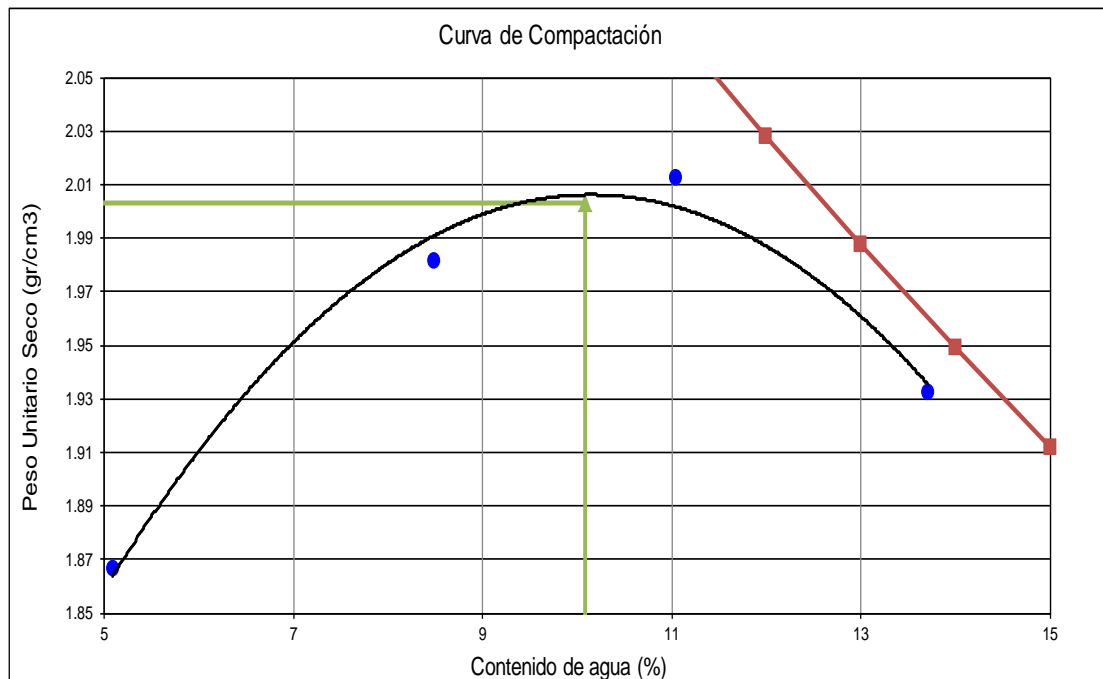
#### 4. Datos para la curva:

Punto No.	1	2	3	4.00
Peso suelo+molde	10600	11000	11180	11100
Peso molde	6434	6434	6434	6434
Peso suelo	4166	4566	4746	4666
Densidad húmeda	1.961	2.150	2.234	2.197
<b>Densidad Seca</b>	<b>1.866</b>	<b>1.982</b>	<b>2.012</b>	<b>1.932</b>

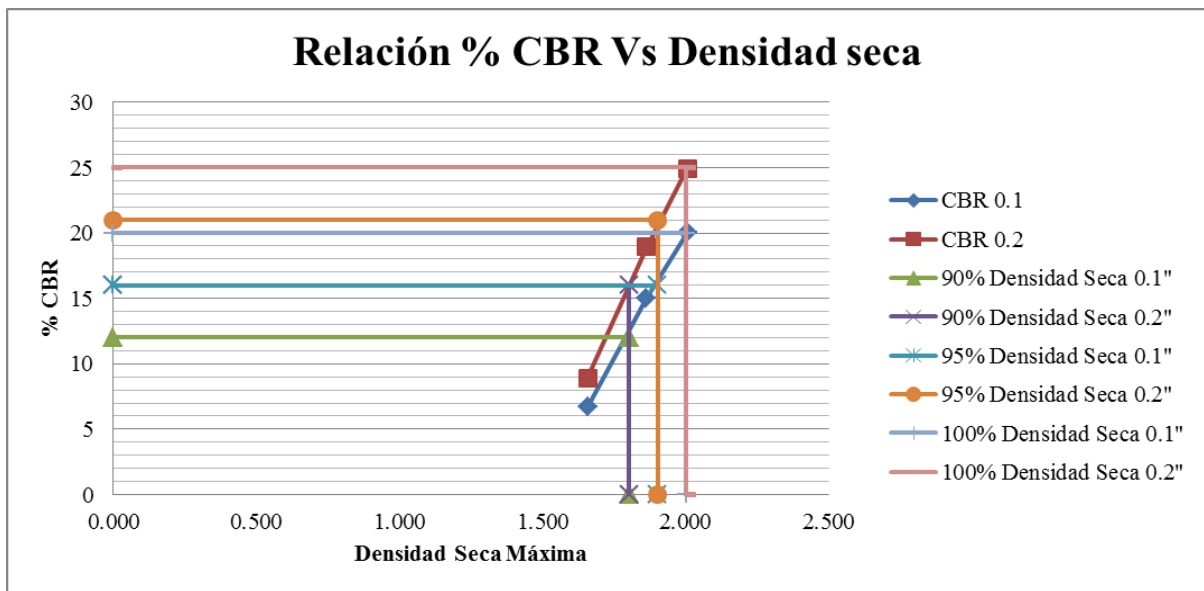
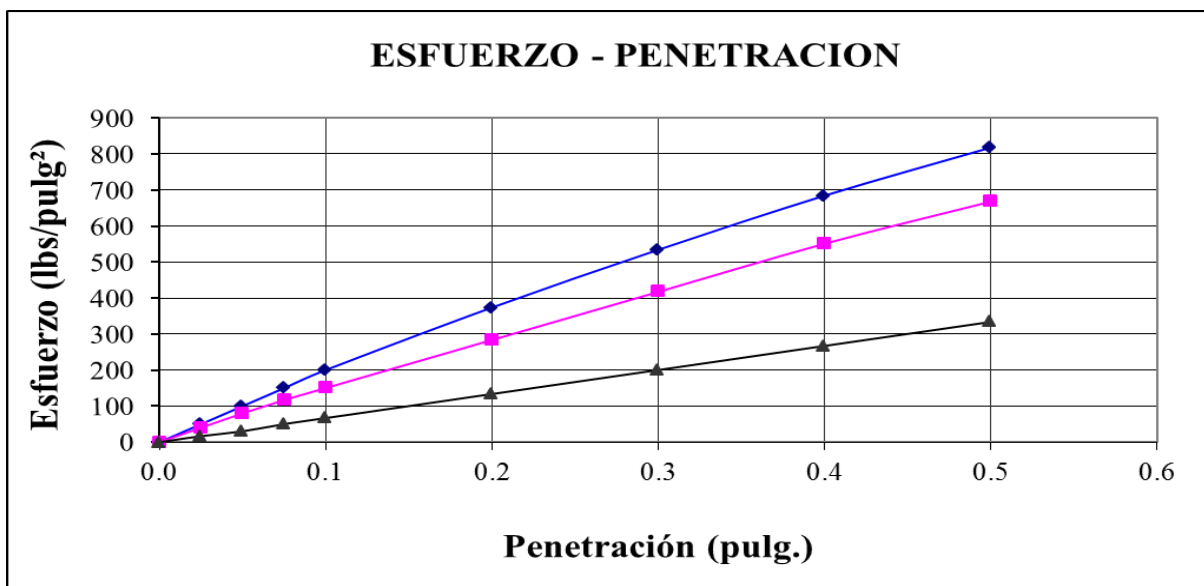
#### CONTENIDO DE AGUA

P. Suelo hum+cap	165.13	149.34	155.98	164.80	165.70	165.40	112.45	148.07
P. Suelo seco+cap	159.56	144.56	147.80	155.67	152.45	153.90	101.56	133.15
P. Cápsula	49.91	50.82	50.09	49.52	32.56	49.75	22.78	23.35
w (%)	5.08	5.10	8.37	8.60	11.05	11.04	13.82	13.59
<b>promedio</b>	<b>5.09</b>	<b>8.49</b>	<b>11.05</b>	<b>13.71</b>				

<b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>	<b>2.003</b>	<b>gr/cm³</b>
<b>W% OPTIMO</b>	<b>10.09</b>	<b>%</b>



RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR ) SUBBASE CLASE 3 + 9% PVC													
Norma:		ASTM D-1883								Mina:		Piedras Verdes	
Fecha:		jul-15								Realizado por:		Rubén Morales	
No. DE CAPAS		5				5				5			
No. DE GOPES POR CAPA		56				25				11			
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	gr	10840		10900		10650		10700		10200		10250	
PESO MOLDE	gr	6130		6130		6275		6275		6315		6315	
PESO MUESTRA HUMEDA	gr	4710		4770		4375		4425		3885		3935	
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm³	2131		2131		2130		2130		2126		2126	
PESO UNITARIO HUMEDO	g/cm³	2.210		2.238		2.054		2.077		1.827		1.851	
PESO UNITARIO SECO	g/cm³	2.008		2.020		1.864		1.867		1.658		1.660	
CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
PESO MUESTRA HUME. + CAP	gr	148.65	174.15	172.89	162.65	147.46	148.22	172.30	171.80	149.64	165.84	195.13	189.56
PESO MUESTRA SECA + CAP	gr	139.65	162.80	161.10	151.56	138.55	138.15	160.13	159.15	140.45	155.34	180.15	175.12
PESO CAP.	gr	50.69	50.01	50.69	49.94	50.50	40.40	49.73	49.37	50.80	52.80	49.36	50.43
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.12	10.06	10.68	10.91	10.12	10.30	11.02	11.52	10.25	10.24	11.45	11.58
PROMEDIO (W%)	%	10.09		10.80		10.21		11.27		10.25		11.52	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA													
MOLDE N°						1		6		17			
PESO MUESTRA HUME. + MOLDE DESPUES SATURACION (gr)						10900		10700		10250			
PESO MUESTRA HUME. + MOLDE ANTES SATURACION (gr)						10840		10650		10200			
PESO AGUA ABSORBIDA (gr)						60		50		50			
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA						1.27		1.14		1.29			
DATOS DE PENETRACION													
PENETRACIÓN	CARGAS TIPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 6			MOLDE N° 17					
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO			
pulg	lbs/pulg²	DIAL	lbs/pulg²	%	DIAL	lbs/pulg²	%	DIAL	lbs/pulg²	%			
0		0	0.0		0	0		0	0				
0.025		15	50.1		12	40.1		5	16.7				
0.050		30	100.2		24	80.2		9	30.1				
0.075		45	150.3		35	116.9		15	50.1				
0.100	1000	60	200.4	20.0	45	150.3	15.0	20	66.8	6.7			
0.200	1500	112	374.1	24.94	85	283.9	18.9	40	133.6	8.9			
0.300		160	534.4		125	417.5		60	200.4				
0.400		205	684.7		165	551.1		80	267.2				
0.500		245	818.3		200	668.0		100	334.0				



Densidad Seca Máxima	CBR 0.1
%	%
90	12
95	16
100	20
Densidad Seca Máxima	CBR 0.2
90	16
95	21
100	25
<b>CBR PROMEDIO</b>	<b>22.5</b>

**PRÓCTOR MODIFICADO SUBBASE CLASE 3 + 11 % PVC**

Norma:	ASTM D-1557
Fecha:	jul-15

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

**Norma y ensayo:**

Golpe/capa:	56
No. De capas:	5
Material pasa el tamiz:	TAMIZ 4
Peso del martillo:	4.5
Altura de caída:	45.7

**Datos del molde:**

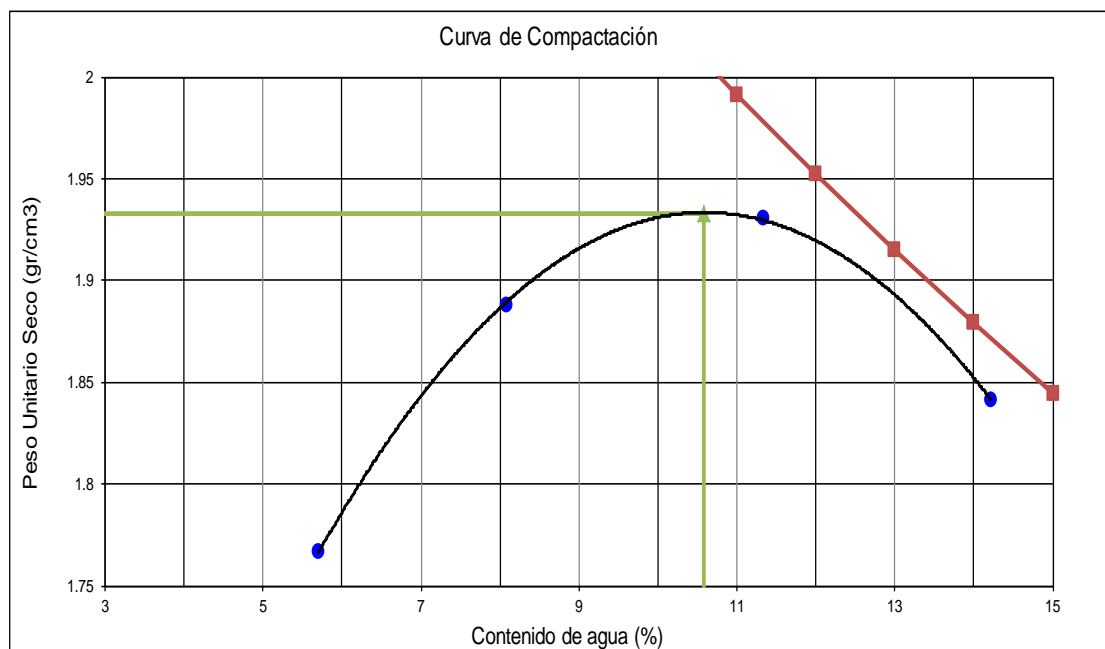
Diámetro:	15.24	cm
Volumen:	2 124	cm³
Peso:	6 434	gr

Punto No.	1	2	3	4.00
Peso suelo+molde (gr)	10400	10768	11000	10900
Peso molde (gr)	6434	6434	6434	6434
Peso suelo (gr)	3966	4334	4566	4466
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.867	2.040	2.150	2.103
<b>Densidad Seca (gr/cm³)</b>	<b>1.767</b>	<b>1.888</b>	<b>1.931</b>	<b>1.841</b>

**CONTENIDO DE AGUA**

P. Suelo hum+cap (gr)	156.76	147.23	152.61	151.23	163.12	160.21	110.20	112.15
P. Suelo seco+cap (gr)	151.15	141.90	144.89	143.68	149.90	148.90	99.40	101.01
P. Cápsula (gr)	49.91	50.82	50.09	49.52	32.56	49.75	22.78	23.35
w (%)	5.54	5.85	8.14	8.02	11.27	11.41	14.10	14.34
<b>promedio</b>	<b>5.70</b>	<b>8.08</b>	<b>11.34</b>	<b>14.22</b>				

<b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>	<b>1.933</b>	<b>gr/cm³</b>
<b>W% OPTIMO</b>	<b>10.58</b>	<b>%</b>

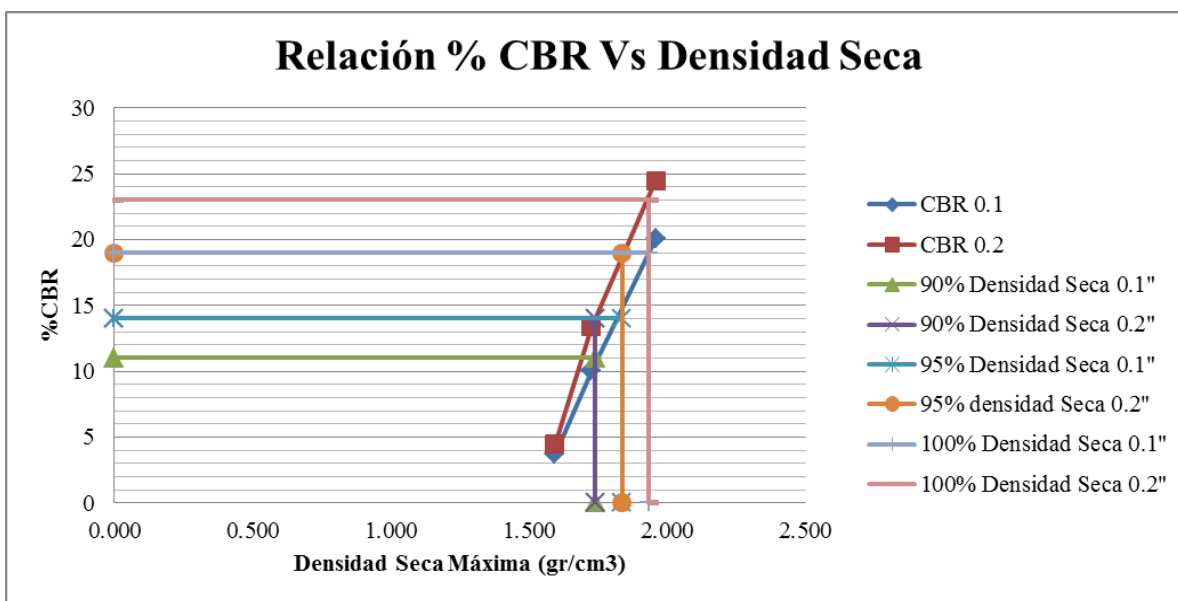
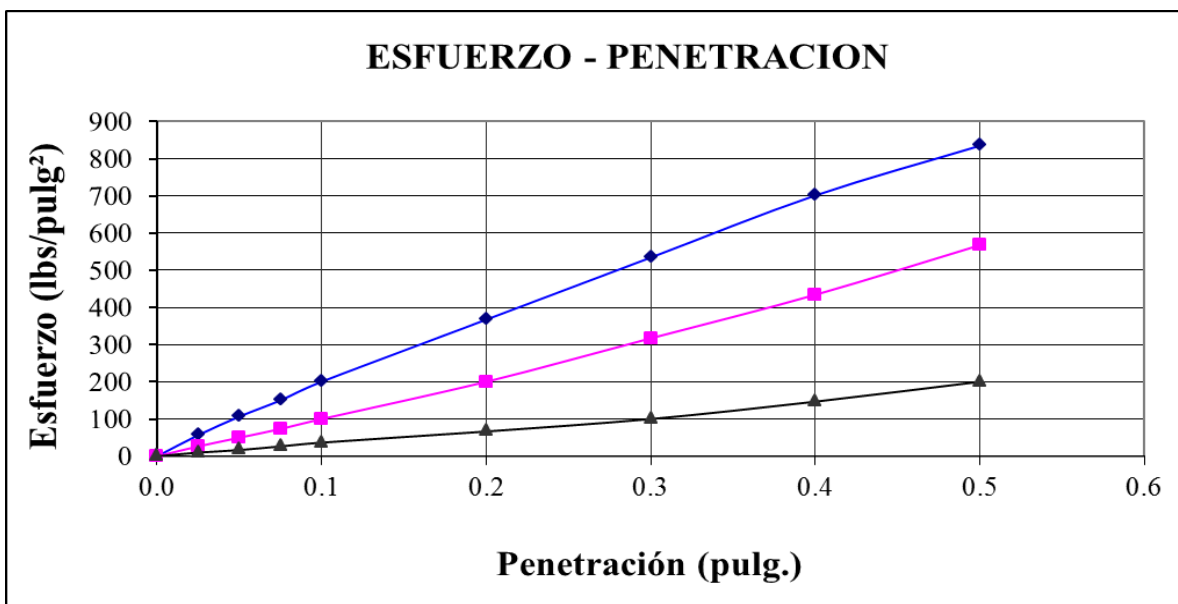


**RELACION SOPORTE CALIFORNIA ( CBR ) SUBBASE CLASE 3 + 11% PVC**

Norma:	ASTM D-1883
Fecha:	jul-15
Material:	Subbase Clase 3

Mina:	Piedras Verdes
Realizado por:	Rubén Morales

No. DE CAPAS		5				5				5			
No. DE GOPES POR CAPA		56				25				11			
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.		ANTES DE SAT.		DESPUES DE SAT.	
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	gr	10510		10580		10265		10325		9740		9785	
PESO MOLDE	gr	5975		5975		6179		6179		6038		6038	
PESO MUESTRA HUMEDA	gr	4535		4605		4086		4146		3702		3747	
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm³	2123		2123.0		2130		2130.0		2125		2125	
PESO UNITARIO HUMEDO	g/cm³	2.136		2.169		1.918		1.946		1.742		1.763	
PESO UNITARIO SECO	g/cm³	1.931		1.944		1.734		1.742		1.573		1.576	
CONTENIDO DE AGUA		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
PESO MUESTRA HUME + CAP	gr	150.13	163.50	160.78	165.67	167.98	196.54	154.67	167.78	146.15	156.43	200.98	200.56
PESO MUESTRA SECA + CAP	gr	140.65	152.55	149.56	153.46	154.04	179.80	143.70	155.30	135.09	143.45	185.01	184.56
PESO CAP.	gr	50.69	50.01	50.69	49.94	22.62	22.98	49.73	49.37	32.62	22.40	49.36	50.43
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.54	10.68	11.35	11.79	10.61	10.67	11.67	11.78	10.79	10.72	11.77	11.93
PROMEDIO (W%)	%	10.61		11.57		10.64		11.73		10.76		11.85	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA													
MOLDE N°							4		6		18		
PESO MUESTRA HUME + MOLDE DESPUES SATURACION							10580		10325		9785		
PESO MUESTRA HUME + MOLDE ANTES SATURACION							10510		10265		9740		
PESO AGUA ABSORBIDA							70		60		45		
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA							1.54		1.47		1.22		
DATOS DE PENEIRACION													
PENETRACIÓN	CARGA TIPO	MOLDE N° 4				MOLDE N° 6				MOLDE N° 18			
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	
pulg	lbs/pulg²	DIAL	lbs/pulg²	%		DIAL	lbs/pulg²	%		DIAL	lbs/pulg²	%	
0		0	0.0			0	0			0	0		
0.025		17	56.8			8	26.7			3	10.0		
0.050		32	106.9			15	50.1			5	16.7		
0.075		45	150.3			22	73.5			8	26.7		
0.100	1000	60	200.4	20.0		30	100.2	10.0		11	36.7	3.7	
0.200	1500	110	367.4	24.49		60	200.4	13.4		20	66.8	4.5	
0.300		160	534.4			95	317.3			30	100.2		
0.400		210	701.4			130	434.2			44	147.0		
0.500		250	835.0			170	567.8			60	200.4		



Densidad Seca Máxima	CBR 0.1
%	%
90	11
95	14
100	19
Densidad Seca Máxima	CBR 0.2
90	14
95	19
100	23
<b>CBR PROMEDIO</b>	<b>21</b>



## BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro, P. (s.f.). *UPC*. Recuperado el 06 de Enero de 2016, de UPC:  
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-13.pdf?sequence=13>
- CADENA , F., & QUIROZ, F. (2000). *MANUAL DE RECICLAJE DE PLÁSTICOS*. Quito : A&B Editores.
- DRIVER, W. (1982). *Química y tecnología de los plásticos* . México : CECSA .
- eis.uva. (s.f.). Recuperado el 10 de 01 de 2016, de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PVC/medioamb.html#marca1>
- eis.uva.es*. (2008). Recuperado el 10 de 01 de 2016, de *eis.uva.es*:  
<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pvc/historiadelpvc.html>
- GONZALEZ DE VALLEJO, L. (2004). *Ingeniería Geológica* . Madrid: Pearson Prentie Hall.
- JUAREZ BADILLO Eulalio, R. R. (1976). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México : Limusa .
- Kramer , C., Pardillo , J. M., Rocci , S., Romana , M., Sánchez, V., & Del Val , M. (2004 ).  
*Ingeniería de Carreteras* . Madrid : Concepción Fernández Madrid .
- Lara, L. (1978 ). *Manual Visualizado de Materiales de Construcción "Tesis"*. Quito : PUCE.
- Lascano, S. D., & Narváez Sánchez , L. A. (2010). *Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una subbase granular con material proveniente de la provincia de Esmeraldas por medio de la adición de desechos de PVC* . Quito: PUCE, Tesis .
- MARTINEZ DE LAS MARIAS,P (1980) *Química y física de los altos polímeros y materias plásticas* España: Alhambra
- MONTEJO, A. (2008). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* . Colombia .
- MORALES CAMACHO, P. (2008). *Construcción y conservación de vías* . Bogota, Colombia : Escuela colombiana de Ingeniería .
- MTOP. (2013). *NEVI 2012*. QUITO: MTOP.
- OLIVEIRA, F (2002) *Estructuración de Vías Terrestre* México: Continental
- Reyes, F. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. Bogota : Digiprint.

RODRIGUEZ, E. RONDON , H. VÉLEZ ,D. AGUIRRE L(2006) *Influencia de la inclusión de desechos de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase*

RONDÓN QUINTANA , H. A., & REYES LIZCANO , F. A. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño* . Bogota : ECOE.

Salvador, J. (2012). Apuntes de Clase. Quito, Pichincha, Ecuador.

Salvador, J. (2012). Prácticas de Laboratorio de Pavimentos . En J. Salvador. Quito : PUCE .

## **NORMAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS**

ASTM StandardC-88 *Durabilidad a la acción de los sulfatos*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM StandardC-127 *Gravedad Especifica del agregado fino*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM StandardC-128 *Gravedad Especifica del agregado grueso*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM StandardC-142 *Terrones de Arcilla en los agregados*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM StandardC-4318 *Límites de Atterberg*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM StandardC-131 *Desgaste a la abrasión en la máquina de los ángeles*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM StandardC-136 *Granulometría de los agregados*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM Standard C -618 *Determinación del índice de actividad puzolánica*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM Standard C 702 *Cuarteo de Agregados*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)  
ASTM Standard D-75 *Muestreo de Agregados*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM Standard D-1557 *Próctor Modificado*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM Standard D-1883 *CBR en laboratorio*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)

ASTM Standard D-2216 *Contenido de Humedad Natural*, libro anual ASTM INTERNATIONAL, (2010)